معضدالا نماء المربج

الطاقة النورية

والمفاعلات النووية لتوليد الطاقة

د. کمال عفت



1917

ممضدالا نماء المربيء

الطَّ قَدْالنَّورِيَّة والمفاعلا<u>ٽ "ا</u>لنووٽية لتوليٽ الظا<u>قي</u>ا

تایف د. کمال عفت زجته د. کمال عفت و د. إبراهيم فتحي ممودة المهندة السائية د. د. محك محد مقر

الجاهيرية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية طرابلس _ ١٩٨٠ .

سلسلة كتب والتكنولوجيا النووية في البلدان النامية ،

تصدر عن: معهد الانماء العربي، برنامج العلم والتكنولوجيا

بيروت _ لبنان

جميع حقوق النشر محفوظة : الطبعة الاولى بيروت ١٩٨٢

لا يجوز نشر أي جزء من هذا الكتاب أو اختزان مادته بطريقة الاسترجاع أو نقله على أي نحو أو بأى طريقة سواء كانت الكترونة أو

ميكانيكية أو بالتصوير أو خلاف ذلك، الا بموافقة الناشر على هذا الكتاب ومقدماً .

قائمة المحتويات

۱۳	الباب الأول: الطاقة النووية ـ تطورها ووضعها الراهن
10	١-١ مقدمة
۱۷	٧ ـ ٧ التطور التاريخي للطاقة النووية
۱۸	٣-١ الحاجة الى الطاقة النووية
۲.	١ ش٤ الوضع الراهن للطاقة النووية
۳.	١ ـ ٥ التنبؤات المستقبلية لبرامج الطاقة النووية
	١ ـ ٥ ـ ١ العوامل والظروف التي تؤثر على
۳.	التنبؤات لنمو الطاقة النووية
	١ - ٥ - ٢ التغييرات وعدم التيقن للتقديرات
٣٣	والتنبؤات المتقبلية
	١ ـ ٥ ـ ٣ التقديرات المستقبلية في الدول
20	المتقدمة صناعياً
٤.	١ ـ ٥ ـ ٤ التقديرات المستقبلية في الدول النامية
٥٣	الباب الثاني: أنواع نظم مفاعلات القوى النووية
٥٥	١-٢ مقدمة
٥٥	٢ ـ ٢ تقسم نظم مفاعلات القوى النووية
۸۵	٣-٢ مسح لنظم مفاعلات القبرى النموية

	أولاً ـ النظم كاملة الصلاحية:
۸۵	٢-٣-٢ مفاعلات الماء العادي المضغوط
	٣ ـ ٣ ـ ٣ مفاعلات الماء العادي المفلي
14	٣٠٣٠ المفاعلات المبردة بالغاز والمهدأة بالجرافيت
	٢ ـ ٣ ـ ٤ مفاعلات الماء الثقيل المضغوط
	ثانياً ـ نظم ثبتت صلاحيتها جزئياً:
٧A	٢ - ٤ - ١ المفاعلات المتقدمة المبردة بالغاز
AT	٢ ـ ٤ ـ ٢ مفاعلات الحرارة العالية المبردة بالغاز
٨٤	٣ ـ ٤ ـ ٣ مفاعلات الماء العادي المهدأة بالجرافيت
AO	٢ ـ ١ ـ ١ المفاعلات السريعة المتولدة
	ثالثاً ـ نظم المفاعلات النووية المتقدمة:
94	٢ ـ ٥ ـ ١
17	٣ ـ ٥ ـ ٣ المفاعلات المهدأة بالماء الثنقيل والمبردة بالغاز
	٣ ـ ٥ ـ ٣ المفاعلات المبردة بالصوديوم والمهدأة بالجرافيت
	٣ ـ ٥ ـ ٤ المفاعلات المهدأة والمبردة بالمواد العضوية
1 - 1	٢ ـ ٥ ـ ٥ مفاعلات التحكم بازاحة الطيف النبوتروني
۱۰۳	الباب الثالث: دورات الوقود النووي
١ - ٥	٣ ـ ١ عناصر دورة الوقود النووي
	أولآ ـ الطرف الأمامي لدورة الوقود
1 - 7	٣ ـ ١ ـ ١ استخراج وطحن اليورانيوم
	٣ ـ ١ ـ ٢ التحويل والاثراء لليورانيوم بالنظير يو ٢٣٥
117	٣-١-٣ تصنيع وحدات الوقود
	ثانياً ـ الطرف الخلفي لدورة الوقود
110	٣ ـ ١ ـ ٤ تخزين الوقود المشعع

110	٣ ـ ١ ـ ٥ اعادة المعالجة للوقود المستنفذ
117	٣ ـ ١ ـ ٦ التخلص من النفايات الشعة
114	٣ _ ٢ دورات الوقود النووي لنظم المفاعلات الختلفة:
	أولاً ـ نظم مفاعلات القوى كاملة الصلاحية:
111	٣-٢-٣ دورة وقود اليورانيوم الطبيعي
119	٣ ـ ٢ ـ ٢ دورة وقود اليورانيوم المثري بنسبة صفيرة
111	٣-٢-٣ استراتيجية دورة الوقود باستخدام الوقود لمرة واحدة
	٣ ـ ٢ ـ ٤ استراتيجية دورة الوقود باعادة
11.	استعمال اليورانيوم والبلوتونيوم
	ثانياً ـ نظم المفاعلات المتقدمة
111	٣ - ٢ - ٥ دورة وقود الثوريوم
172	٣ ـ ٢ ـ ٦ . دورة وقود المفاعلات السريعة المتوالدة
	٣ ـ ٣ الاتجاهات الرئيسية والاختيارات
170	لدورة الوقود بالدول النامية:
110	٣ ـ ٣ ـ ١ الاختيار بين دورات اليورانيوم الطبيعي والمثرى
144	٣-٣-٢ ضمانات الحصول على احتياجات دورة الوقود
179	٣-٣-٣ الطرف الخلفي لدورة الوقود
۱۳۱	الباب الرابع: اقتصاديات القوى النووية
188	٤ ـ ١ ـ ١ ـ ١ ـ ١ ـ ١ ـ ١ ـ ١ ـ ١ ـ ١ ـ
172	٤-٢ قيود التقيم الاقتصادي
150	٤ - ٣ عناصر تكلُّفة توليد القوى النووية
127	٤-٣-٤ رأس المال المستثمر
12.	٤-٣-٤ تكاليف دورة الوقود
1 £ 1	٤ - ٣ - ٢ - ٢ تكاليف اليورانيوم
124	٤-٣-٢ تكاليف التحويل والاثراء

٤-٣-٢-٣ تكاليف تصنيع الوقود
٤-٣-٤ تكاليف اعادة المالجة
٤ ـ ٣ ـ ٢ ـ ٥ تكاليف تخزين الوقود المستنفذ
٤ ـ ٣ ـ ٣ تكاليف التشغيل والصيانة
 ٤ ـ ٤ المقارنة بين محطات القوى النووية ومحطات القوى الحرارية
٤ ـ ٤ ـ ١ مقارنة تكاليف رأس المال المستشعر
1 ـ ٤ ـ ٢ مقارنة تكاليف دورة الوقود ١٤٧
٤ - ٤ - ٣ مقارنة تكاليف التشغيل والصيانة
٤ - ٤ - ٤ سعر البترول وحجم المحطة
الحققان لنقطة التعادل الاقتصادي
٤-٤-٥ تحاليل الحساسية
الباب الخامس: ادخال القوى النووية في الدول النامية
١-٥ مقدمة
٥- ٢ التخطيط للبرامج النووية
١٦١ دراسات التخطيط للقوى النووية١٠١ دراسات التخطيط للقوى النووية
٥-٢-٥ دراسات الجدوى
۵ ـ ۳ مراحل ادخال مشروع المحطة النووية
الأولى وخطوات تنفيذها
١٠٣-٥ مرحلة ما قبل التماقد
٥-٣-١-١ حالة الشبكة الكهربائية وتأثيرها على حجم المحطة ١٦٦
٥-٣-١-٣ توفير الأفراد المدربين في التقنية النووية أ ١٦٧
٥ - ٣ - ١ - ٣ وجود دولة مصدرة مستعدة لتوريد المحطة١٦٨
٥-٣-١ تأمين مصادر الوقود النووي طوال عمر المحطة١٦٨
٥ ـ ٣ ـ ٥ ـ الغطاء المالي للمشروع النَّووي
٥ - ٣ - ٢ خطوات التعاقد على مشروع المحطة النووية
٥ ـ ٣ ـ ٢ ـ ١ التنظم واعداد الأفراد

171	0_7_7_7 اعداد المواصفات والدعوة الى العطاءات
177	٣-٢-٣-٥ تقيم العطاءات
۱۷۳	٢-٣-٥ البيانات عن الموقع
۱۷۳	٥ ـ ٣ ـ ٥ مفاوضات التعاقد
171	٣-٣-٥ مثال الخبرة المصرية في مشروع المحطة النووية الأولى
144	٥ ـ ٣ ـ ٥ مرحلة التعاقد والتنفيذ
1.41	٥ ـ ٤ المتطلبات القانونية والتنظيمية
	ملحق (أ) الاعتبارات الدولية للقوى النووية
140	١- الفهانات
ra/	٢ معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية
1 A 1	٣_ القوى النووية وانتشار الأسلحة النووية
198	٤ حاية المواد والمعدات النووية
190	۵ - المراكز الاقليمية لدورات الوقود النووي
	ملحق (ب) الآثار الصحية والامانية والبيئية لمعطات القوى النووية
111	١ ـ طبيعة الأخطار الاشعاعية
7 - 1	٢ _ تقييم الخاطر من الاشعاعات المؤينة
7 - 0	٣_ امان المحطات النووية
T - Y	٤- الآثار البيئية للقوى النووية
٨٠٧	٥ - تقبل الرأي المام
	ملحق (ج) الاستخدامات البديلة للطاقة النووية
7 17	 ١ انتاج الماء العذب باستخدام الطاقة النووية في ازالة الملوحة
717	٢ - الانتاج النووي للطاقة الحرارية للعمليات الصناعية
714	٣- الدفع النووي للسفن
***	قائمة المراجم

تقديم

أعد هذا التقرير استجابة لدعوة وجهت الى المؤلف منذ حوالي عام مضى معهد الانماء العربي، المشاركة في مشروع دراسة تشمل الجوانب الحتلفة للتكنولوجيا النووية، وحدد المهد ست مجالات رئيسية في نطاق هذه الدراسة مكونة من اعضاء منتقين يعالج كل منهم واحداً من تلك الجالات المحددة. وكانت مهمة المؤلف هي مجال الطاقة النووية والمفاعلات لتوليد الطاقة وهو ما يتناوله هذا التقرير.

وبالنظر الى الجال الواسع وتنوع الموضوعات التي يغطيها هذا الموضوع الهام والنبي يتسم بالتمارض والتمقيد ، كما انه ينطوي على جوانب فنية واقتصادية بالاضافة الى نواحي سياسية ودولية فقد تطلبت الدراسة واعداد التقرير قدراً كبيراً من الجهد والوقت للحفاظ على توازن مناسب بين المدى الذي تذهب اليه تغطية مختلف الموضوعات ، ودرجة العمق والتفصيل التي يعالج بها كل

وبالاضافة الى ذلك فان مثل هذا الاستعراض العريض والواسع وهذا التحليل العلمي، يتطلبان الارتكاز على عدد كبير ومتفرق من التقارير والاوراق العلمية والدراسات المنشورة والمتاحة في عدد كبير جداً من المجلات العلمية والمؤترات وفي مختلف التقارير والوثائق والمطبوعات للوكالة الدولية

للطاقة الذربة. ومن أجل هذا ونظراً للقيود المفروضة بالنسبة للوقت المحدود وحجم التقرير لم يكن في الامكان تجميع وتضمين قائمة شاملة للعدد الكبير من المراجم المستخدمة خلال الدراسات التي اجريت وخلال اعداد هذا التقرير.

وعلى أية حال فقد تم تضمين قائمة منتقاة من المراجع الرئيسية المتصلة بالموضوعات الواردة بكل من الفصول الخسة وفي الملاحق الثلاثة للتقرير . وحيث ان هذه الدراسة والتقرير قد تم انجازها بواسطة المؤلف بصفته الشخصية فان البيانات والمعلومات ووجهات النظر الموضحة او البيانات الواردة بالتقرير لا تعتبر بأية حال انها تمثل التزاماً أو سياسة لأي سلطة أو

هبئة حكومية.

وقد دار خلال السنوات القليلة الماضية جدل واسع ومكثف حول الطاقة النووية كما تنوعت وجهات النظر بين المؤيدين والممارضين لاستخدام التكنولوجيا النووية، وبسبب هذا الجدل والتمارض انبثق عدد من القضايا والمشاكل الكبرى التي أثارت قلقاً وأقامت صعوبات في كثير من البلاد النامية بالنسبة لوضع خطتها المستقبلية لتطوير التكنولوجيا النووية. وقد جاءت المبادرة بهده الدراسة من جانب معهد الاغاء العربي في وقتها المناسب، وذلك للتعرف على القضايا والمشاكل الرئيسية وتوضيعها، وتوفير قاعدة من البيانات العلمية والتحليل العلمي يمكن أن ترتكز عليها الخطط والقرارات التي تتخذها البلاد النامية عامة والعالم العربي خاصة.

وقد كتب هذا التقرير بأمل أن يكون فيه بعض العون للوفاء بتلك الأهداف.

المؤلف

الباب الأول الطاقة النووية ،

تطورها ووضعها الرامن

١ ـ ١ مقدمة:

من المتوقع أن يتزايد الطلب على الطاقة الكهربائية في كل من الدول الصناعية المتقدمة والدول النامية لتفطية احتياجات التنمية الاقتصادية والصناعية من أجل الحفاظ على الحضارة الحديثة، وقد زاد استهلاك الماأم للطاقة من مقدار يعادل ٣٣٠٠ مليون طن من الفحم في عام ١٩٥٥ الى ١٩٥٠ معدل زيادة بلغ في المتوسط ٥٥ سنوياً وتشير التقديرات الى أنه سوف يصل الى ما يعادل ١٠٠٠ مليون طن من الفحم في عام ١٩٨٥ وانه سوف يتضاعف تقريباً مجلول سنة ٢٠٠٠. وتقدر نسبة الطاقة تكهربائية الى اجمائي استهلاك الطاقة حوالي ٣٠ الى ٣٥٥ كما انها كانت تتزايد أيضاً بمدل سنوي بلغ في المتوسط من ٦ الى ٧٧. ولا شك أن معدل زيادة الطلب على الطاقة الكهربائية في الدول النامية سوف يكون أعلى نظراً لاتباع الفجوة بين معدل استهلاك الفرد للطاقة في الدول النامية ومعدله في الدول التقدمة.

ففي معظم الدول النامية يتراوح متوسط معدل استهلاك الفرد من ١٠٠٠ الى ١٠٠٠ كيلووات ساعة في السنة بينما يبلغ في الولايات المتحدة ٨٠٠٠ كيلووات ساعة في السنة، ويصل في النرويج الى ١٤٥٠٠. كما أن المتوسط بالنسبة لغرب أوروبا يبلغ ٢٥٠٠ كيلووات ساعة في السنة. وربما كانت الحاجة الملحة للطاقة الكهربائية في الدول النامية هي العنصر الرئيسي الذي يعتمد عليه احراز تقدمها ، فالطاقة الكهربائية مطلوبة كأداة للانتاج ولزيادة كفاءة انتاج الطمام والتنمية الصناعية ورفع المعيشة الاجتاعي في تلك الدول ، الذي ما زال متخلفاً بدرجة كبيرة وراء المستويات في الدول الصناعية المتقدمة. ومن المروف أن أحد الأهداف الرئيسية في وضع خطط التنمية الاقتصادية والصناعية والزراعية في أية دولة ، سواء كانت متقدمة أو نامية ، هو توفير امدادات كافية واقتصادية من الطاقة الكهربائية. ويتطلب تحقيق ذلك القيام باستغلال جميع موارد الطاقة المتاحة ، من الماء والفحم والبترول والغاز واليورانيوم، وذلك الى جانب استغلال المصادر الأخرى للطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة المد والريح وطاقة الحرارة الأرضية والخلفات البيولوجية على أوسع نطاق ممكن. وخلال السنوات العديدة الماضية احتلت الطاقة النووية مكاناً بارزاً بين موارد الطاقة الأخرى ، كما أن الزيادة الحادة في الأسمار العالمية للبترول، والتي بلغت أربعة أضعاف في نهاية عام ١٩٧٣، وما ترتب عليها من نتائج بالنسبة لزيادة تكلفة انتاج الطاقة من المحطات الحرارية التقليدية ، قد جذبت الاهتام الى مشروعات الطاقة النووية في كثير من الدول بوصفها مصدراً منافساً وحيوياً لانتاج الطاقة.

وبالرغم من اقرار الجدوى الاقتصادية للمحطات النووية فقد ظل الجدل حول مستقبل الطاقة النووية مستمراً ، كما ان الحاجة الى استخدام الطاقة النووية ظلت موضع تساؤل على أساس اعتبارات أخرى غير اقتصادية وألقيت الظلال على التوقعات الواضحة والباهرة للطاقة النووية ، من الهجمات التي توجهها جماعات معارضة يطلق عليها «الجموعات المناوئة للطاقة النووية »، انهم يهاجون الطاقة النووية بوصفها مصدراً خطيراً وغير مقبول للطاقة يقترن يا أضرار صحية وأخطار التخلص من النفايات المشعة بالاضافة الى مخاطر

بالنسبة لغرب أوروبا يبلغ ٢٥٠٠ كيلووات ساعة في السنة . وربما كانت الحاجة الملحة للطاقة الكهربائية في الدول النامية هيي العنصر الرئيسي الذي يعتمد عليه احراز تقدمها ، فالطاقة الكهربائية مطلوبة كأداة للانتاج ولـزيـادة كفـاءة انتاج الطعام والتنمية الصناعية ورفع المعيشة الاجتاعيي في تلـك الدول؛ الذي ما زال متخلفاً بدرجة كبيرة وراء المستويات في الدول الصناعية المتقدمة. ومن المعروف أن أحد الأهداف الرئيسية في وضع خطط التنمية الاقتصادية والصناعية والزراعية في أية دولة. سواء كانت متقدمة أو نامية، هـو تـوفير امدادات كافية واقتصادية من الطاقة الكهربائية . ويتطلب تحقيق ذلبك القيام باستغلال جميع موارد الطاقة المتاحة، من الماء والفحم والبترول والغاز واليورانيوم، وذلك الى جانب استغلال المصادر الأخرى للطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة المد والريح وطاقة الحرارة الأرضية والمخلفات البيولوجية على أوسع نطاق ممكن. وخلال السنوات العديدة، الماضية احتلت الطاقة النووية مكاناً بارزاً بين موارد الطاقة الأخـرى. كما أن الزيـادة الحادة في الأسعار العالمية للمبترول، والتي بلغت أربعة أضعاف في نهاية عــام ١٩٧٣، وما ترتب عليها من نتائج بالنسبة لزيادة تكلفة انتاج الطاقة من المحطات الحرارية التقليدية، قد جذبت الاهتام الى مشروعات الطاقـة السوويـة في كثير من الدول برصفها مصدراً منافساً وحيوياً لانتاج الطاقة .

وبالرغم من اقرار الجدوى الاقتصادية للمحطات النووية فقد ظل الجدل حول مستقبل الطاقة النووية مستمراً، كما ان الحاجة الى استخدام الطاقة النووية ظلت موضع تساؤل على أساس اعتبارات أخرى غير اقتصادية وألقيت الظلال على التوقعات الواصحة والباهرة للطاقة النووية، من الهجهات التي توجهها جاعات معارضة يطلق عليها و المجموعات المناوئة للطاقة النووية 1، انهم يهاجمون الطاقة النووية بوصفها مصدراً خطيراً وغير مقبول للطاقة يقترن بها أضرار صحية وأخطار التخلص من النفايات المشعة بالاضافة الى مخاطر الكهربائية المركبة للمحطات النووية من خسة ميجاوات في عام ١٩٥٥ الى ٣٣٠٠ ميجاوات في عام ١٩٦٨ بينما أم تدم ميجاوات في عام ١٩٦٨ بينما أم تنشأ في الدول النامية حتى عام ١٩٧١ سوى محطة نووية واحدة أنشئت في احدى هذه الدول وهي الهند بقدرة كهربائية قدرها ٣٣٠ ميجاوات، وذلك من اجمالي القدرة الكهربائية المركبة في عام ١٩٧١ والتي بلغت حوالي ٣٣٠٠٠ كانت بأحجام تقل عن ٣٠٠٠ ميجاوات. وقد أدت التطورات المتنالية للمحطات النووية وكذلك للأنواع الختلفة ومفاعلات القوى الى ترسيخ التكنولوجيا لعدد من هذه الأنواع حتى بلغت حد المستويات التقليدية الكاملة المحلوات كهربائي أو أكثر، وزاد عدد المفاعلات التي تم تشفيلها حتى عام ١٩٧٨ ميجاوات كهربائي أو أكثر، وزاد عدد المفاعلات التي تم تشفيلها حتى عام ١٩٧٨ ميجاوات كهربائي أو أكثر، وزاد عدد المفاعلات التي تم تشفيلها حتى عام ١٩٧٨ ميجاوات في ٢١ دولة من بينها خس دول نامية.

1 ـ ٣ الحاجة الى الطاقة النووية:
 بالرغم من الانجازات الكبيرة السابق ذكرها خلال المراحل المبكرة للتطور
 فان الحاجة الى الطاقة النووية لم تكن تد بلغت مرحلة من الاستقرار الواضح؛

فان الحاجة الى الطاقة النووية لم تكن قد بلغت مرحلة من الاستقرار الواضح ؛ كما أن أدخال الطاقة النووية في كثير من الدول لم يكن تبريره بالكامل. ويمزى هذا الى العديد من الأسباب التي تأتي في مقدمتها تكاليف الانشاء للمحطات النووية التي كانت تتسم بالارتفاع لاسها لمدى الأحجام التي كانت متاحة على المستوى التجاري ؛ وكانت الأسمار العالمية للبترول قبل ١٩٧٣ منخفضة نسبياً ، كما أن تكاليف الانشاء المنخفضة للمحطات التقليدية التي تستخدم البترول جعلت من الصحب على المحطات النووية منافستها . ووجد أن نقطة النمادل الاقتصادي للمحطات النووية هي عند الأحجام التي تزيد قدرتها على ٥٠٠ ميجاوات كهربائي ؛ وبالاضافة الى ذلك فان أحجام التي تزيد قدرتها الشبكات الكهربائية في غالبية الدول النامية في ذلك الوقت كانت لا يكنها

أن تنقبل مثل هذه المعطات ذات الأحجام الكبيرة . ونظراً لهذه الاعتبارات وكذلك بسبب الاتجاه في الدول الصناعية المتقدمة الى انتاج أحجام أكبر في نطاق يتراوح بين ٥٠٠ الى ١٠٠٠ ميجاوات فان اقامة وتطوير المحطات النووية لتوليد الكهرباء ظل مقصوراً على الدول المتقدمة صناعياً التي تقوم بتصنيع هذه المحطات ، مع بقاء سوق التصدير الى البلاد النامية في نطاق صغير حداً .

وقد تغير الموقف بصورة جنرية منذ ١٩٧٣ وذلك بعد الزيادة الحادة في أسعار البترول من ٣ دولار للبرميل الى حوالي ١٢ دولار للبرميل. وقد أصبحت حينتُذ محطات الطاقة النووية تتنافس بصورة كاملة مع مصادر الطاقة التقليدية لانتاج الكهرباء وذلك بأحجام صغيرة للوحدات تصل قدراتها الى حوالي ١٥٠ ميجاوات. واصبحت الحاجة الى ادخال محطات للقوى النووية بعد ذلك لها ما يبررها بالكامل؛ وصارت أحد المصادر الرئيسية البديلة للوفاء مجاجات الطاقة في كثير من الدول.

وبالاضافة الى الاعتبارات السابقة فقد ازدادت حدة الحاجة الى الطاقة النادورية بسبب أزمة الطاقة العالمية المعروفة في عام ١٩٧٣ ، والضرورة الى توفير الموارد المحدودة من الوقود التقليدي (خاصة البترول) واحلال موارد بديلة علها . فمن المعروف أن الاحتباطيات من الوقود التقليدي وهي البترول والفعم والغاز محدودة . وان تقديرات الموارد المتاحة فيها كانت سبباً يدعو الى الاهتام والقلق المتزايد من حيث كفايتها في الوفاء بالمتطلبات المتزايد من حيث كفايتها في الوفاء بالمتطلبات المتزايدة المطاقة في المستقبل . وأكثر من ذلك فان هذه الأنواع من الوقود التقليدي مطلوبة في المتركل مواد خام لا تتساج كثير من المنتجات الصناعية مثل صناعة البتروكياويات ، كما انه يمكن استغلالها بدرجة أكثر كفاءة وبطريقة اقتصادية في مثل تلك الاستخدامات بدلا من حرقها كوقود لا نتاج الطاقة . وهناك بمض الدول المنتجة للبترول مثل ايران على سبيل المثال رغم مواردها البترولية

الضخعة قد قررت القيام بتنفيذ برنامج كبير لانشاء محطات للطاقة النووية وذلك لتوفير الموارد غير المتجددة من احتياطيات البترول والغاز الطبيعي؛ حتى يكن استغلالها بطريقة أفضل في التنمية الصناعية واستخدام حصيلة تصديرها في استيراد التكنولوجيا والمعدات اللازمة للطاقة النووية ومشروعات التنمية الأخرى، وان المصادر المتجددة للطاقة مثل الطاقة النمسية وطاقة الرياح والمد والطاقة الحرارية الأرضية والطاقة المنتجة من الخلفات البيولوجية لا تكفي جميعها لتفطية أكثر من نسبة صغيرة من الكميات الهائلة من المتطلبات العالمية للطاقة. كما انه لم يتم للآن تطوير التكنولوجيا لهذه من المرجع أن يكون اسهامها في توفير متطلبات الطاقة العالمية بحلول نهاية هذا الفرن ذا أهمية ملموسة لا سبا في توليد الكهرباء.

١ ـ ٤ الوضع الراهن للطاقة النووية:

ان تكنولوجيا الطاقة النووية قد تطورت خلال الخيس والعشرين سنة الماشية الى الحد الذي يكن من قبولها كمصدر بديل ومنافس كامل لانتاج الطاقة الكهربائية. وان عدة نظم لفاعلات القوى النووية، قد بلغت مرحلة متقدمة من التطور التكنولوجي والنضوج بحيث أصبحت مصدراً للطاقة يتوفر فيه الأمان والكفاءة ويكن الاعتاد عليه وتدعمه خلفية واسعة من الخبرة في التشغيل. وكما سبق ذكره؛ فانه يوجد ٢١٥ مفاعلاً نووياً تعمل في مطات نووية في ٢١ دولة وتقوم بتوفير انتاج كهربائي بقدرة اجالية بلغت ١٠٢٥٥٥ ميجاوات كهربائي ويبين الجدول رقم (١) الدول الواحد والعشرين التي تم يجاوات كهربائي الخرج الكهربائي فيها اقامة وتشغيل هذه المحطات وعدد المفاعلات وصافي الخرج الكهربائي وأنواع نظم المفاعلات التروية. يوجد أربعة أنواع فقط تستبر في الوقت الحاضر كاملة الصلاحية للتشفيل على المستوى التجاري هي مفاعلات الماضوط أو المغل، ومفاعلات

الماء الثقيل المضغوط ومفاعلات الجرافيت المبردة غازياً، ويتضح من الجدول رقم (٢)، الـذي يتضمن تقسياً للعـداد والحرج الكهربائي لمختلف نظم المفاعلات الأربع المذكورة تمعلي حوالي ٩٤٠٠٠ من صافي الحرج الكهربائي الاجمالي لجميع المحطات النووية التي تم تشغيلها، بينما تفطي نسبة الـ ٨٨٪ الباقية جميع الأنواع الأخرى للمفاعلات التي لم تكتمل صلاحيتها بعد وكذلك نظم المفاعلات المتقدمة. ويجدر بنا الاشارة هنا الى انه من بين النظم الأربعة التي ثبتت صلاحيتها كاملة يوجد ثلاثة منها فقط متوفرة على المستوى التجاري وهي: مفاعلات الماء المفيوط، ومفاعلات الماء المغيل ، ومفاعلات الماء الثقيل عمن من بن من بين قائلان وغير متوفرة على المستوى التجاري وهي: على المنتوط، أما مفاعلات الماء الثقيل عمن من بن من بين علان وغير متوفرة على المنتول، ومفاعلات الماء الثقيل المنتول مناعلات الماء الثقيل مناعد عنه سنوات.

تتضمن المحطات النووية التي تم تشفيلها الى الآن عدة محطات تتراوح أحجام وحداتها بين ١٥٠ و ٣٠٠٠ ميجاوات كهربائي أقيمت في المراحل المبكرة لانشاء وتطوير المحطات النووية ويبلغ الحد الأدنى لأحجام المحطات المتاحة على المستوى التجاري من الشركات الصناعية في الوقب الحاضر ٢٠٠ ميجاوات كهربائي، ويقدم الاتحاد السوفييتي مفاعلات من نوع الماء المنفوط بأحجام ١٤٠ ميجاوات كهربائي، الا أن معظم المحطات التي أنشئت منها تتكون من وحدتين توأم مجموع قدرتها الكهربائية ٨٨٠ ميجاوات. وبينما يعطي التحسن في الاقتصاديات مع زيادة الحجم ، مزايا اقتصادية أكبر باستخدام وحدات حجم كبير فان كثيراً من الدول النامية ما زالت غير قادرة على استخدام مثل هذه الوحدات بسبب القيود التي تفرضها نظم الشبكات الكهربائية الأصغر حجماً والتي لا تستطيع أن تستوعب هذه الوحدات الكبرة.

وبالطبع فان المستوى الحالى لأسعار البترول والزيادة المتوقعة فيها مستقبلا

جدول (۱) محطات القوى النووية الشفالة حتى أول مايو ١٩٧٨

أنواع المفاعلات	القدرة الكهربائية للمعطات الثغالة ميجاوات كهربائي	عدد المفاعلات	الدولة
1 PHWR	710	,	الأر جنتين
4 P\\'R	1777		المحسكا
2 PWR	۸۳۷	4	بلغاريا
9 PHWR	10.0	١,	كندا
2 PWR, IBWR	17	٣	ا سويسرا
1 HWGCR	11.	1	تشيكوسلوفاكيا
4 PWR	1747	٤	المانيا الشرقية
5PWR, 6BWR, IPHWR,	7911	١٤	المانيا الفربية
IHTGR, 1FBR			
1 PWR, 1 BWR, 1 GCR	1.44	۳.	اسبانيا
I PW'R	٤٢٠	١,	فتلندا
3 PWR, 7 GCR,	20-4	17	فرنسا
1 HWGCR, 1 FBR			
26 GCR, 5 AGR, 1 FBR	7.44+	77	الملكة التحدة
2 BWR, 1 PHWR	7.7	٣	المند
I PWR, 2 BWR, I GCR	1777	٤	ايطاليا
8 PWR, 11 BWR, I GCR	17174	٧.	اليابان
. 1	370	١ ،	كوريا
I PWR, I BWR	211	۲	هولندا

تابع الجدول رقم (١)

	القدرة الكهربائية		
أنواع المفاعلات	للمحطات الثفالة	عدد المفاعلات	الدولة
	ميجاوات كهربائي		
1 PHWR	177	١.	باكستان
I PWR. 5 BWR	۳۷	٦	السويد
7 PWR, 5 BWR,	FIFY	YV	الاتحاد السوفييتي
13 LWGR, 2 FBR			
39 PWR, 25 BWR.1 HTGR	13753	c.r	الولايات المتحدة
	1.7000	710	المجموع

الجدول رقم (٧) القدرة الكهربائية، وعدد الأنواع الختلفة للمفاعلات النووية الشغالة.

فيسوع الكلي		410	1-7000	1000
فعموع للانواع المثبتة الصلاحية نزئيا والمتقدمة		۲٧	L30V	۳۲۸
لفاعل السريع المتوالد	FBR	D	337	٥٦٥٠
المبرد غازياً	HTGR	4	725	٥٣٠
لفاعل ذو الحرارة العالية				
نفاعل المتقدم الميرد بالغاز	AGR	0	L634	364
ناعل الماء الثقيل المبرد بالفاز	HWGCR	4	· .	۴٠,
الله المادي				
لمفاعل المهدأ بالجرافيت والمبرد	LWGR	Ť	1444	٧٦٤
إمموع للأنواع المثبتة الصلاحية		1 // /	959	٧١١٧
غاطل المهدأ بالجرافيت والمبرد غازيا	GCR	1.4	۲۸.۸	700
فاعل الماء الثقيل المضموط	PHWR	14	3770	اره
فاعل الماء العادي المغلي	BWR	0,	4.2.4	٨٠.٠
فاعل الماء المادي المضنوط	PWR	>	۳۸۰۰۵	۴ر۸٤
, ,	Ş	الفاعلات	المفاعلات ميجاوات كهربائي	الكهربائية من الاجمالي
أنهام النقاطا	<u>-</u>	عدد	القدرة الكهربائية/	النسبة المثوية للقدرة

تحمل المنافسة الاقتصادية للمحطات النووية تتحقق عند وحدات أصغر ححماً يما كان الأمر علمه من قبل ويكن أن تصل الى ١٥٠ منجاوات كهربائي أو أقل من ذلك الا أن مثل هذه الوحدات ذات الأحجام الصغيرة أو المتوسطة ليست متوفرة تجارياً في الوقت الحاضر، بالإضافة الى عدد المحطات النووية التي تم تشفيلها والتي وردت بالجدولين (١) ، (٢) يوجد الآن عدد كبير من المحطات في مرحلة الانشاء والتخطيط في عدد كبير من الدول المتقدمة والنامية . وطبقاً للبيانات المتاحة من الوكالة الدولية للطاقة الذرية يبلغ العدد الاجالي للمفاعلات النووية التي تحت الانشاء والتخطيط ٣٦٦ مفاعلا تبلغ قدرتها الانتاجية الاجمالية حوالي ٣٤٢٠٠٠ ميجاوات كهربائي. ومن المتوقع أن الغالبية العظمي من هذه المحطات سيم تشغيلها في السنوات الأولى من الثانينات وبذلك سوف يصبح اجمالي القدرة الكهربائية المنتجة نووياً حوالي ٤٥٠ ميجاوات . ويبين الجدول رقم (٣) عدد المفاعلات النووية وصافي القدرة الكهربائية المنتجة لكل من مختلف أنواع نظم المفاعلات. ويلاحظ أن هناك نظامن من تلك النظم قد أوقف بناؤهما وهما مفاعلات الجرافيت المبردة غازياً ومفاعلات الماء الثقيل المبردة غازياً ويمكن أيضاً ملاحظة أنه من اجمالي طاقة المحطات الجاري انشاؤها والمخطط لها يوجد حوالي ٣٠٠٠٠٠ ميجاوات كهربائي تمثل حوالي ٨٦٪ من مجموع القدرة الكهربائية ، مصدرها مفاعلات الماء العادي التي تستخدم اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة كما توضح أيضاً أن مجموع القدرة الكهربائية من نظم المفاعلات الخمس الأخرى في مجموعة المفاعلات المتقدمة أو التي ثبتت صلاحيتها جزئياً تبلغ حوالي ٣٣٠٠٠ ميجاوات كهربائي تمثل حوالي ١٠٪ فقط من اجمالي القدرة الكهربائية المنتجة من المحطات النووية التي في مرحلة الانشاء والمخطط لها. ويعرض الجدول رقم (٤) تطور الطاقة النووية خلال الفترة من عام ١٩٥٥ حتى عام ١٩٩٥. ويبين عدد المفاعلات وصافي القدرة الكهربائية المنتجة من المحطات النووية في الدول

جدول (٣) القدرة الكهربائية وعدد المفاعلات النووية من الأنواع المختلفة التي بجري انشاؤها والخطط لها

المجموع الكلي		777	TETIET	1
للأنواع المتقدمة)		۲,۸	44.54.	۸ر۹
مجموع (الشبت الصلاحية جزئيا				
مفاعل سريع متوالد	FBR	>	7345	₫.
مفاعل مرتفع الحرارة مبرد بالغاز	ATGR	-4	120.	ين.
مفاعل متقدم مبرد بألفاز	AGR	7.	AVIL	٨٦٠
مفاحل الماء الثقيل المبرد غازيا	HWGCR	-		
المبرد باللاء المادي				
المفاعل المهدأ بالجرافيت	LWGR	1	14	٦ر٥
مجموع (الأنواع الشبتة الصلاحية)		444	441.4.4	۲۰٫۴
المفاعل المهدأ بالجرافيت والمبرد غازيا	GCR	1	ı	ı
مفاعل الماء الثقيل المضغوط	PHWR	74	1441.	70,0
مفاعل الماء المفلي	BWR	717	19779	۲۰٫۲
مفاعل الماء المضغوط	PWR	444	33.144	17.1
	;	انشاؤها والخطط لها	كهربائي	من الاجمالية
أنواع المفاعلات	الريم	التي يجري	الصافية/ميجاوات	الصافية/ميجاوات الكهربائية الصافية
		عدد المفاعلات	القدرة الكهربائية	القدرة الكهربائية النسبة المثوية للقدرة

1	٥	_	,	ı	-	المصدرة المتوردة الدول التامية المصدرة اللبتوردة الدول النامية المصدرة المستوردة الدول النامية				جدول (٤) عدد المفاعلات وصافي القدرة الكهربائية في الدول التقدمة صناعياً والدول النامية عند نهاية كل سنة
1	7	<	4	,		المتوردة	صناعيا	الدول المتقدمة	عدد الدول	انامية عنا
,,	اد	٦	.4	٦	-	المصدرة	6.	الدول	de	والدول اا
4044.		1.64		,		الدول النامية			القدرة الكهربائية (ميجاوات)	ندمة صناعياً
٧٨٠٥٠	37071	4444	144			المستوردة	'هَ	4	كهربائية	لدول المت
VA.0. 100011	1.34A 340A1	12541	W-04	Y00	0	المدرة	صناعيا	الدول المتقدمة	القدرة ال	ريائية في ا
£ 0	>	-4	,	,	,	الدول النامية			باعلات	في القدرة الكه
144	21	10	14	ŀ		المتوردة	ماعا	الدول المتقدمة	عدد المفاعلات	لات وصا
444	100	۲	77	:	_	المصدرة	6	الدول		دد المقاع
19.60	1444	1941	36.61	1404	1400			Ē		جدول (٤) ء

۲٧

~ ~

13364

ratti Atrv. Tival. A174. 2.444.

144

7 4 4

1990 144. المتقدمة صناعياً وفي الدول النامية على أساس المجموع في نهاية كل سنة. ويلاحظ أن عدد الدول المتقدمة صناعياً التي أنشئت فيها محطات نووية سيظل من الناحية العملية دون تغيير خلال الفترة من ١٩٧٧ إلى ١٩٩٥ بينما سيزداد عدد الدول النامية خلال نفس الفترة من خمس دول الى سبعة عشرة دولة وهو ما ينير الى اتجاه الزيادة بمعدل أسرع للتقدم في البلاد النامية. وخلال نفس الفترة يمكن أن يلاحظ أيضاً بوضوح وجود اتجاه مشابه بالنسبة لمعدل الزيادة في كل من عدد المفاعلات وفي صافي القدرة الكهربائية المنتجة من المحطات النووية في الدول النامية. كما يلاحظ أيضاً أن عدد الدول المتقدمة صناعياً الست التي تصنع وتصدر المحطات النووية ظل ثابتاً على مدى الخمسة عشرة عاما الماضية. ومن المتوقع أن يستمر على هذا الوضع حتى عام ١٩٩٥. ويلخص الجدول رقم (٥) أحدث البيانات المنشورة بواسطة الوكالة الدولية للطاقة الذرية بشأن المحطات النووية التي تم تشغيلها ، والمحطات التي في مرحلة الانشاء حالياً في الدول المتقدمة صناعياً سواء المصدرة منها أو المستوردة ، وفي الدول النامية وتوضح هذه البيانات أن المحطات التي تعمل في احدى وعشرين دولة تنتج حوالي ٩٨٪ من صافي القدرة الكهربائية المنتجة في الدول المتقدمة صناعباً .

الا انه مع استكمال وتشنيل جميع المحطات النووية التي هي في مرحلة الانشاء الآن فان صافي القدرة الكهربائية المنتجة في الدول النامية ستزيد نسبتها من ٤٣٦٪ حالياً الى ٣٦٦٪ من اجالي سعة الطاقة النووية في العالم ؛ كما ان عدد الدول النامية التي انشئت فيها المحطات النووية سيزيد من خمس دول الى سبعة عشر دولة . وبينما تشير هذه الأرقام الى انه قد امكن تحقيق تقدم معقول لتطوير الطاقة النووية في الدول النامية الا انه ما زالت هناك فجوة واسعة بين سعة الطاقة النووية المخطط لما والمشروعات التي تم تنفيذها فعلا وذلك بسبب وجود صعوبات مختلفة وعقبات ستناقش فيا بعد في هذا التقرير .

جدول (ه) مقارنة القدرات الكهربائية الصافية وعدد المفاعلات في الدول المتقدمة صناعياً والدول النامية أ ـ المفاعلات الشفالة (في ٣١ دولة)

الدول	الدول ا المصدرة عدد (٦)	لتقدمة المستوردة عدد (۱۰)	الدول النامية عدد (٥)	الإجالي
القدرة الكهربائية	V7V44	77777	7541	1.7001
الصافية			}	
(میجاوات کهربائی)				
النسبة المثوية	۹ر٤٧	۷ر۲۲	£ر٢	١
من الاجالي				
عدد المفاعلات	105	٤A	٨	710
النسبة المئوية	٧٤	۳۲۲۳	۷ر۳	١
من الاجالي				
	L		l	

ب ـ المفاعلات التي يجري انشاؤها (في ٢٩ دولة)

Y-9110	17AYE (11)	14045	(r)	القدرة الكهربائية (ميجاواتكهربائي)
١٠٠	٦٦٦	۲ره۱	۸ر۷۷	النسبة المئوية
771	٧٤	2.7	170	من الاجمالي٪ عدد المفاعلات
1	٤ر١٠	۲۸۸۲	٤ر٧١	النسبة المئوية
				من الاجالي

١ ـ ٥ التنبؤات المستقبلية لبرامج الطاقة النووية:

١ - ٥ - ١ العوامل والظروف التي تؤثر على التنبؤات لنمو الطاقة النووية:

يتأثر غو الطاقة النووية بظروف مختلفة تتصل بعوامل اقتصادية واجتاعية وسياسية. كما أن موقف الرأي العام نحو الطاقة النووية، وأثر الضغوط السياسية والاقتصادية قد أحدثت أثراً ملموساً على غو الطاقة النووية في كثير من الدول. ولذلك فان التقديرات والبيانات المنشورة عن تنبؤات مستقبل سعة المطاقة النووية كانت تخضع داغاً للمراجعة المستمرة، على ضوء العوامل السائدة والمرتبطة بتلك التنبؤات وستناقش هنا باختصار العوامل المختلفة التي تؤثر على خطط المدى القصير وكذلك المدى الطويل لبرامج الطاقة النووية وذلك لاظهار مدى امكان الاعتاد على البيانات المنشورة عن التقديرات المستقبلية للطاقة النووية وددى الحدود المفروضة عليها. وأن العوامل التي تؤثر على الخطط القصيرة الأحد مذكورة في أحد البحوث المنشورة للوكالة الدولية للطاقة النروية ودورة الوقود المنروي الذي يقود ودورة الوقود النوي الذي وقشمل الآي:

أ ـ الاتجاه نحو المحافظة على الطاقة: ان هذا الاتجاه الذي استمر الى حد ما منذ الحظر على تصدير البترول عام ١٩٧٣ قد أدى الى اتجاه الكثير من الشركات المنتجة للطاقة الى المحافظة على قدر مناسب كاحتياطي كما ان عدداً أقل من تلك الشركات وجد أنه من الضروري اضافة وحدات للاحمال الأساسية ، التي تمثل السوق الرئيسية لمحطات الطاقة النووية .

ب - الركود الاقتصادي وما أعقبه من تخفيض في الطلب على الطاقة:
 ان هذا الركود قد خفض بعض الشيء النمو في الصناعة عن طريق عزوفها عن القيام باستثارات جديدة مما أدى الى ابطاء الزيادة في الطلب على الطاقة.
 ج ـ عدم التأكد مما تقدمه من خدمات دورة الوقود: انه بسبب عدم

التأكد من مجالات تخزين الوقود المستنفذ، واعادة المعالجة للوقود المحترق، واعادة استخدام المواد الانشطارية التي يتم فصلها من عملية اعادة المعالجة، يلزم أن يعطي المشغلون للمفاعلات اهتاماً أكبر بتخزين الوقود المستنفذ وكذلك الحصول على كميات من اليورانيوم أكثر من الكميات المطلوبة في حالة اعادة الاستخدام للمواد الانشطارية المستخلصة من الوقود المستنفذ.

د ـ عدم التأكد من العمليات التنظيمية: ان التطور المستمر للمعايير
 التنظيمية قد كان لها أثر يتسم بعدم الاستقرار على الهيئات المنتجة للطاقة.
 ونتيجة ذلك هي اطالة الوقت اللازم الذي يسبق تنفيذ القرارات لمشروعات القدرات لتوليد الطاقة النووية.

ه .. تحول الرأي العام لتقبل الطاقة النووية: ان عتلف قطاعات الرأي العام مستمرة في التساؤل عن ضرورة الحاجة الى الطاقة النووية. وقد تحول الاهتام مؤخراً من الأسئلة حول الأمان للمفاعلات الى مقدار ما هو متيسر من خدمات دورة الوقود بما في ذلك كميات موارد اليورانيوم وكذلك التخلص من النفات الشعة.

و - التغييرات في الامدادات من الوقود التقليدي: ان الأحداث الأخيرة مثل الحظر على تصدير البترول في عام ١٩٧٣، واكتشاف مصادر البترول في الاسكا وفي بحر الشبال كان لما آثار متفاوتة وغير متوقعة على مختلف البرامج القومية لتطور الطاقة النووية. ويمكن أن تتضمن العوالم التي تؤثر على غو الطاقة النووية على المدى الطويل الآتي:

أ ـ عوامل اجتاعية ذات طبيعة عالمية: يدخل تحت هذا البند المؤثرات التراكمية على النمو الاجمالي للطاقة نتيجة لاتجاهات النمو في عدد السكان، وأسلوب المعيشة ومصادر حماية البيئة؛ التي غالباً ما تؤثر على غو الطاقة النموية. ب. تطور التكنولوجيا الحديثة للطاقة: وهذه ستؤثر بطبيعة الحال على غو الطاقة النووية. وقد تكون تكنولوجيا تحويل الفحم الى غاز هي الأولى في التأثير على النمط العالمي الاجمالي لموارد الطاقة، ثم يليها تطور نظم الطاقة الحرارية الأرضية وانتاج الهيدروجين والطاقة الشمسية والطاقة الاندماجية وستكون آثار هذه التكنولوجيات صغيرة نسبياً قبل سنة ٢٠٠٠ الا انه لا يكن تجاهلها.

جد - السياسات القومية للطاقة والتعاون الدولي: ان السياسات القومية للطاقة مثل تلك الموجهة نحو الاستقلال في مجال الطاقة يمكن أن يكون لها اثر كبير وملموس على برامج الطاقة النووية كما أثبتت الاجراءات التي اتخذت بعد حظر البترول في عام ١٩٧٣ . الا أن هذه السياسات قد تصبح أقل أهمية بعد نهاية هذا القرن مفسحة الطريق أمام تأكيد أكبر على التعاون الدولي في تطوير تكنولوجيا الطاقة والى تجميع المصادر في ظل البيئة المعالمية التي تتناقص فيها موارد الطاقة .

ومن الصعب جداً التعرف على تقدير انعكاسات تلك العوامل التي قد تؤثر على مستقبل النمو للطاقة النووية؛ ومع ذلك فانه يمكن تقديم المقترحات المبدئية التالية: _

١ ـ انعكاسات العوامل الاقتصادية:

أحدث الركود الاقتصادي العالمي أثراً عميناً على نمو الطاقة النووية، وقد . لا يتم الانتماش الكامل من هذا الركود خلال فترة السنوات القليلة القادمة، نظراً للوقت الطويل الملازم لامكان الحصول على منافع من الاستثارات والانشاءات الجديدة. ومن المتوقع أيضاً أن يترتب على هذا الركود عدة عواقب مثل اللجوء الى المحافظة على الطاقة، والتغيير في أساليب الحياة وهذه سوف تستمر لمدة طويلة كما سيكون لها أهمية على المدى الطويل.

٢ .. انعكاس عوامل امدادات الطاقة:

لا يمكن أن نتوقع إحلالاً على نطاق واسع لمصادر الطاقة القائمة حالياً قبل عام ٢٠٠٠. واذا نجحنا في ادخال المفاعلات السريعة المتوالدة باستخدام وقود من البلوتونيوم للحفاظ على مواردنا من اليورانيوم، فان الطاقة النووية ستساهم بصورة رئيسية في سد الاحتياجات من الطاقة في المستقبل.

٣ . أثر تطور التكنولوجيا:

ان الوصول بدورة الوقود الى المستوى التجاري واستخدام البلوتونيوم في المفاعلات الحرارية سوف يكون لهما على المدى القصير أثر على غو الطاقة النووية. أما على المدى الطويل فان تطور التكتولوجيا لنظم الطاقة الجديدة مثل الطاقة الشمسية والطاقة الاندماجية يكن أن يكون لها أثر كبير على غو الطاقة النووية بعد عام 2000.

٤ - أثر السياسات:

ان سياسة الدول الصناعية بالنسبة لزيادة المدلات المرغوبة للطاقة النووية، وموقفها تجاه استعادة الطاقة التي يحتوبها الوقود المستنفذ، وكذلك الاهتام بتطوير المفاعلات السريعة المتوالدة سوف يكون لها أثر ملموس، ليس على برنامج انتاج الطاقة في المستقبل فحسب بل على النمو الاقتصادي ذاته. وأكثر من ذلك فان التعاون في مجال الطاقة بين الدول الصناعية المتقدمة والدول النامية سيكون له أيضاً أثر كبير على التنمية الاقتصادية العالمية.

١ ـ ٥ ـ ٢ التغييرات وعدم التيقن للتقديرات والتنبؤات المستقبلية:

نظراً للعوامل المذكورة آنفاً وفي ضوء التغييرات في الظروف الاجتاعية والسياسية والاقتصادية فان التقديرات والتنبؤات المنشورة لسعة الطاقة النووية في المستقبل تظهر تغييرات كبيرة كما انها كانت تتغير بصفة مستمرة منذ السنوات المبكرة لتطور الطاقة النووية لاسيا خلال السنوات القليلة الماضية.

وأذا فحصنا البيانات المعطاة خلال عتلف الفترات فاننا نجد قدراً كبيراً من عدم التحقيق والتناقص بين سعة الطاقة النووية المقدرة عن سنة معينة والخطط الفعلية المنفذة. فمثلا يوجد لدى الولايات المتحدة في الوقت الحاضر حوالي ٧٥٠ من اجمالي قدرة المحطات النووية في العالم التي تم تشفيلها. ويوجد ملخص للتنبؤات عن قدرات الطاقة النووية التي سيتم تشفيلها مجلول عام ملخص للتنبؤات ور (٦) ويتضح من هذا الجدول مدى الاختلافات بين تلك

جدول (٦) الاختلافات والتغيرات للتنبؤات بشأن نمو القدرة النووية عن عام ١٩٨٠ (ميجاوات كهربائي)

, جميع العالم	في	الولايات المتحدة			
القدرات المقدرة مستقبلياً (لعام ١٩٨٠)	تاريخ التنبؤ	القدرات المقدرة مستقبلياً (لعام ١٩٨٠)	تاريخ التنبؤ		
TT TTO	1979	1	1477		
٣٠٠٠٠	144+	٧٥٠٠٠	1978		
775	1978	90	1977		
197 179	1940	120	1477		
174	1977	10	144.		
٧٣٣٧٨	1444	101	1471		
		177	1444		
		1.7	1978		
		٨٨٠٠٠	1977		

التنبؤات ، خلال الفترة بين ١٩٦٧ و ١٩٦٠ فان تنبؤات الطاقة النووية التي سيم تشغيلها في عام ١٩٨٠ قد زادت الى ما يقرب من أربعة اضعاف بينما انه في الفترة بين عام ١٩٧٠ ، وعام ١٩٧٦ نجد أنها قد هبطت بمقدار ٤٤٥ ، بالرغم من حدوث زيادة سريعة وحادة في أسعار البترول خلال تلك الفترة. ولذلك فانه من الضروري أن تظل البيانات المنشورة عن التقديرات والمشروعات الخطط لها تحت المراجعة المستمرة ، كما ينبغي أن تؤخذ البيانات المعطاة في وقت معين كمقياس فقط للاتجاهات والمؤشرات وليست كأرقام عددة وثابتة .

١ ـ ٥ - ٣ التقديرات المستقبلية في الدول المتقدمة صناعياً:

تبلغ الطاقة النووية في البلاد المتقدمة صناعياً ما يربو على ٩٧٪ من مجموع القدرة المركبة للمحطات النووية الشغالة في جميع انحاء العالم ، كما أن صافى القدرة الكهربائية لمحطات الطاقة النووية التي تم تشغيلها في ١٦ دولة من الدول المتقدمة صناعياً قد بلغت ما يزيد على ١٠٠٠٠٠ ميجاوات ، وباضافة الحطات النووية التي يجري انشاؤها حالياً والتي تبلغ قدراتها ٣١٧٠٠٠ مبجاوات ، فإن القدرة المركبة للمحطات النووية ستزداد الي ١٧٠٠٠ ميجاوات كهربائي في ١٨ دولة من الدول المتقدمة صناعياً. ويبين الجدول رقم (٧) عدد المفاعلات التي تم تشغيلها والتي يجري انشاؤها والخطط لها ، وصافي القدرة الكهربائية المنتجة في كل من تلك الدول أن التقديرات المستقبلية للمتطلبات من الطاقة النووية في مختلف الدول المتقدمة صناعياً قد نشرت في عدد كبير من البحوث والتقارير ضمن وثائق المؤتمرات الدولية وفي ندوات الوكالة الدولية للطاقة الذرية. وقد نشرت أحدث التقديرات المتقبلية عن مشروعات الطاقة النووية في الدول المتقدمة صناعياً في مايو سنة ١٩٧٧ في مؤتر سالزبورج عن القوى النووية ودورة الوقود الخاصة بها؛ وكذلك في طبعة سنة ١٩٧٨ من تقرير الوكالة الدولية للطاقة الذرية المعنون «مفاعلات القوى في الدول الاعضاء » ويتضمن الجدولان (٨) ، (٩) ملخصاً لهذه السانات.

جدول (٧) محطات القوى النووية الشفالة والتي يجري انشاؤها والخطط لها في الدول المتقدمة صناعياً

	t ti wildi	عدد المفاعلات	صافي القدرة الكهربائية
	المناطق والدول	عدد الفاعدت	(ميجاوات كهربائي)
أمريكا	الشالية:		
	المتحدة	٧.٧	7.7779
كندا		45	11111
غرب أو	روبا :		
النمسا		١	797
بلجيكا		٩	7294
سويسرا		٧	2974
المانيا الن	بربية	٤٠	47504
اسبانيا		11	10991
فنلندا		٥	۳۱٦٠
فرنسا		į.	71017
الملكة ا	لتحدة	٤٣	١٤٣١٨
ايطاليا		٨	7370
هولندا		۲	172
السويد		14	4117
أوروبا ال	مرقية والاتحاد السوفييتي:		
المانيا الث		١٣	1909
تشيكوسلو		14	1073
الاتحاداك	. وفييتي	0.4	77217
اليابان		77	****
جنوب أف	ريقيا	۲	7347
المجموع		٥٣٥	FYFF/3

جدول (٨) تقديرات غو الطاقة النووية لدول منظمة التعاون الاقتصادي والقيمة (ميبجاوات كهربائي)

4	:	-	1990	_	199.	1	14.40	_	144.	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
Fi	منخفض مرتفع	بها	منخفض مرتقع منخفض مرتقع منخفض مرتفع	مرتفع	منخفض	مرتفح	منخفض	بق	منخفض	الناطق
01.	7. <	٨١3	344	۲۸۲	۲.,	721	140	1/	٥٨	منطقة أوروبا
۸:	44.	310	T* - 0	7.4	710	144	131	>	3,	منطقة أميركا الشمالية
۲٧.	101	۱۵۸	4	٨٥	٥٢	2.0	44	1	6	منطقة الباسفيك
. 533	דנסץ ינ33	۲ر۲۰	דניון ינדו שניד דנוד ינדי ענאד דניד דנסיד	۷۷۸۷	47.	777	7 · y £	17.	1777	النسبة الثوية للطاقة
										النووية
175.	744 1.4.	1.4.	14	7.	AL3	4 7 4	444	١٧٢	154	الطاقة النووية الاجالية
٨٧٧	TWW.	7.71	Abat VLAA 1114 11-4	٧٤٨٨		١٨٣٧	1ATY 12TA 1TTO 1T.A	1410	17.7	الطاقة الكهربائية
										الاخالية

جدول (٩) نمو القدرات النووية في الدول المتقدمة صناعياً (ميجاوات كهربائي)

1117	1111	1440	14.6-	السنة الدولة
۲۰۰۲٦۰	11717.	124-77	٧٣٣٧٨	الولايات المتحدة الأمريكية
F1 A37	F1A37	FIATY	PLAFL	الاتحاد السوفييتي
1-727	1.727	1227	4777	السويد
299	٤٩٩	299	1899	هولندا
77279	77279	47279	12277	اليابان
0 2 7 7	۸۷۲۵	۸۷۷۵	1441	أيطاليا
127	957	1.797	1-797	الملكة المتحدة
71017	71087	71017	17871	فرنسا
٣17.	W17.	717.	117.	فنلندا
10.91	10-11	17141	0 £ V 1	اسبانيا
۳٤٠٠٧	72	710-Y	18-84	المانيا الاتحادية
1101	1909	1101	7777	المانيا الديموقراطية
1013	1073	1773	1711	تشيكوسلوفاكيا
777	YATT	VATT	AFAY	سويسرا
10779	10779	11477	7709	كندا
7197	7597	7597	T170	بلجيكا
797	117	797	797	النمسا
۱۸٤٣	1427	1887	-	جنوب أفريقيا
٤٠١٨٣١	797721	TTTOTT	١٨٠٤٨٨	لجموع

ويمكن ملاحظة أن هناك اختلافات كبيرة بين التنبؤات الواردة بالجدول (٨)، فعلى سبيل المثال تظهر التقديرات المنخفضة بأنها تقل بمقدار ١٤٪ و٣٣٪ لعامي ١٩٨٠، ١٩٨٥، على الترثيب، عن التقديرات التي نشرت قبل ذلك في «تقرير اليورائيوم» لعام ١٩٧٥ الصادر عن منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية ووكالة الطاقة النرية.

ويمكن تفسير هذا الاتجاه الى الانخفاض في التقديرات الى حد كبير بسبب البطء النسى في استعادة الانتعاش الاقتصادي، وبسبب اللجوء على المدى القصير الى استخدام محطات الوقود التقليدي نظراً لارتفاع تكاليف الانشاء وطول الفاصل الزمني الذي يتطلبه تنفيذ المحطات النووية، كما انها تُعزى جزئياً الى عدم تقبل الرأي العام للقوى النووية. وعلى أية حال فان هذا الاتجاه يمكن أن ينعكس في المستقبل كنتيجة للزيادة المستمرة في أسعار البترول بعد زيادتها الى أربعة أمثالها في عام ١٩٧٣. وفي كثير من الدول تعتبر ان الطاقة النووية هي البديل الرئيسي للامدادات من احتياجات الطاقة في المستقبل، وذلك للتقليل من الاعتاد على واردات البترول وتجنب الصعوبات المترتبة على عدم امكان التحقق من احتياطياته وأسعاره في المستقبل. وإذا أضفنا الى الأرقام الواردة بالجدول رقم (٨) التقديرات عن نمو الطاقة النووية في الاتحاد السوفييتي وفي الدول ذات التخطيط الاقتصادي المركزي كما نشرتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية ، فان التقديرات المستقبلية عن اجمالي القدرة للطاقة النووية في الدول المتقدمة صناعياً تصل الى ٤٦٠ جيجاوات في عام ١٩٨٥ وتزيد الى ١٩٨٠ جيجاوات بحلول عام ٢٠٠٠ كحد اقصى والى ٣٣٠ جيجاوات في عام ١٩٨٥ ، و ١٠٤٠ جيجاوات في عام ٢٠٠٠ كحد أدني وسوف ترتفع مساهمة المحطات النووية في توليد الطاقة الكهربائية تدريجياً حقى تصل الى حوالي ٤٠٪ في عام ٢٠٠٠.

١ _ ٥ _ ٤ التقديرات المستقبلية في الدول النامية:

تمثل الطاقة النووية ضرورة حبوية للدول النامية، ومن المتوقع أن تلعب دوراً هاماً في الوفاء باحتياجات الطاقة خلال الأحقاب القادمة في كثير من الدول النامية. ويعزى ذلك أساساً الى الموارد الوطنية المحدودة والزيادات في الأسمار العالمية للبترول. وتواجه الدول النامية عقبات في توفير احتياجاتها الضرورية من البترول لتشغيل محطاتها الحرارية حق أن بعض الدول المنتجة للبترول قد تحولت الى استخدام الطاقة النووية لتوفير مقادير اضافية من البترول لاستخدامها في الصناعة أو التصدير . وبالرغم من هذه المنفعة الواضحة والحاجة الى الطاقة النووية فإن القدرة الكهربائية للمحطات النووية التي تم تشفيلها حتى الآن، والمبينة بالجدول رقم (١٠) تبلغ حوالي ٢٠٠٠ ميجاوات فقط وهذه تمثل حوالي ٢٪ من القدرة الكلبة للمحطات النووية الشغالة في العالم وأن خس دول فقط من الدول النامية توجد بها محطات نووية شغالة حالياً كما ان هناك محطات نووية يجرى انشاؤها أو مخطط لها في احدى عشر دولة أخرى ، وبذلك سوف تصل القدرة المركبة للمحطات النووية بالدول النامية الى حوالي ٢٨٠٠٠ ميجاوات في منتصف الثانينات. ويبين الجدول رقم (١١) عدد المفاعلات وصافى القدرة الكهربائية في كل دولة من المناطق النامية الختلفة في العالم.

لقد كانت التقديرات المستقبلية طويلة الأمد للطاقة النووية موضوع دراسات مستفيضة ومتعددة في كثير من الدول النامية وفي الوكالة الدولية للطاقة النرية. وأشارت نتائج هذه الدراسات الى الدور الكبير للطاقة النووية في المستقبل في كثير من الدول النامية. كما قدمت تقارير ويحوث كثيرة عن التقديرات والتنبؤات لزيادة القدرة النووية في المستقبل في كل من الدول النامية. وغالباً ما يعبر عن هذه البيانات باعطاء مدى للأرقام بين التقدير الأعلى والتقدير المنخفض بدلا من اعطاء أرقام محددة. ويرجع السبب في ذلك

الى أن هناك كثير من اللاتحققية والفروض الضمنية في عملية التنبؤ والطرق المستخدمة في اجرائها والظروف التي تبنى عليها هذه التنبؤات. وقد قامت الوكالة الدولية للطاقة النربة في عام ١٩٧٣ بمح شامل لدرامة تسويق محطات الطاقة النووية التي سوف يتم تنفيذها خلال الفترة من عام ١٩٨٠ الى عام وكان المدف أربعة عشرة دولة من الدول النامية التي شاركت في هذه الدراسة. وكان الهدف الأساسي من عمل هذا المسح هو تحديد حجم المحطات النووية والجدول الزمني لاقامتها في كل من الدول المشتركة خلال الفترة المحددة للدراسة والتي يمكن انشاؤها على أسس اقتصادية. وقد نشرت النتائج التي تم الحصول عليها من هذه الدراسة في أربعة عشرة تقريراً يختص كل منها باحدى الدول المشتركة في الدراسة ، وكذلك تقرير عام واحد يتضمن النتائج الشاملة الدول المشتركة في الدراسة ، وكذلك تقرير عام واحد يتضمن النتائج الشاملة والاتجاهات الرئيسية لجميع الدول المشاركة.

جدول (١٠) محطات القوى النووية الشغالة التي يجري انشاؤها في الدول النامية

بلغاريا	-1	٨٣٧	PW/R	٦	۸٤٠	PWR
اوروبا الشرقية:		•				
باكستان	-	177	PHWR	ŧ	ı	1
יאליט	1	,	1	Pr.	2117	PWR
1	7	4.4	2 BWR, IPHWR	ь	7.44	PHWR
الشرق الاوسط وجنوب اسياه		,				
الحسيك		ı	•	4	14. Y	PWR
دوبا ا	,	ı	,	-	* 55 *	PWR
الميرازيل		,	1	1	1117	PWR
الارجنتين	-	W E O	PHWR	_	1.	PHWR
أمريكا اللاتينية:						
v	المفاعلات	الصافية (ميبعاواتكهربائي)		المفاعلات	الصافية (ميجاوات كهربائي)	القاعلي
المناطق والدول	عدد	القدرة الكهربائية	Ĉ.	عدد	القدرة الكهربائية	r.
		محطات شفالة	14		عطات تحت الانشاء	

تاج الجندول رقم (٩٠)

	E gangle	>	3.43.4	,	۲٤	154431	١
1	كوريا	-	310	PWR	-	144.5	PWR
	الفيليبين	1	,	(_	141	PWR
. "	جنوب شرق اسيا والباسفيك:						
	, <u>, , , , , , , , , , , , , , , , , , </u>	ı	1	•	~	۲۱۸	PWR
- FC	بوغوسلافيا	t		,	_	744	PWR
	المناطق والدول	الماعلات	القدرة الكهربائية عدد الصافية المفاعلات (سيجاوات كهربائي)	عاد عن النقا	عدد الفاعلات	القدرة الكهربائية الصافية (ميجاوات كهربائي)	مان عن نقط
			محطات شماله	4		محطات محت الانشاء	

جدول (١١) محطات القوى النووية الشغالة والتي يجري انشاؤها والخطط لها في الدول النامية

لقدرة الكهربائيةالصافية (ميجاوات كهربائي)	عدد المفاعلات	المناطق والدول
		أمريكا الوسطى والجنوبية:
10.0	۳.	الأرجنتين
7117	٣	البرازيل
14.4	۲ .	المكسيك
۸۸۰	۲	كوبا
7.4.9	١.	المجموع للمنطقة
		آسيا والشرق الأقصى:
1781	٨	الهند
AAAY	٨	ايران
177	1	باكستان
W09A	٥	. كوريا
777	\	الفيليبين
10.17	44	المجموع للمنطقة
		الدول ذات التخطيط المركزي:
٤٤٠	1 , 1	رومانيا أ
PLAL	۳	بولندا
1787	£	المجر
1777	£	بلغاريا
0070	17	المجموع للمنطقة

تابع جدول رقم (١١)

القدرة الكهربائية الصافية (ميجاوات كهربائي)	عدد المفاعلات	المناطق والدول
		أوروبا والشرق الأوسط وأفريقيا:
788	,	يوغوسلا فيا
74.	١	تركيا
777	١	<i>א</i>
1441	٣	المجموع للمنطقة
35757	£A	المجموع لجميع المناطق

وقد قامت الوكالة الدولية للطاقة الذرية بنشر هذه التقارير وهي تتضمن بيانات مستفيضة عن مجموعات الشبكات الكهربائية في الدول المختارة وكذلك التسويق للطاقة النووية في كل دولة ، وحجم وتوقيت ادخال المحطات النووية المقترح انشاؤها مستقبلا في كل منها . وبالاضافة الى ذلك فان التقارير تحتوي أيضاً على دراسات عن حساسية السوق بالنسبة لعدد من المتغيرات والعوامل مثل معدلات الخصم والفائدة على رأس المال ومعدلات زيادة أسعار الوقود ، وتكاليف الانشاء واحتياجات التمويل لخطط التوسع في مجموعات الطاقة . وتكاليف الانشاء واحتياجات التمويل لخطط التوسع في مجموعات الطاقة . ويلخص الجدول رقم (١٢) النتائج التي تم الحصول عليها للتقديرات المستقبلية للقدرة النووية التي يلزم اضافتها في كل دولة . ويكن ملاحظة انه خلال الفترة من ١٩٩٠ فيان اجمائي الاضافات للقدرة النووية تتراوح بين المعتباية في عام ١٩٧٠ ميجاوات كهربائي و ودتم تحديث هذه التقديرات المستقبلية في عام ١٩٧٤ بعد الارتفاع في أسعار البترول من ٣

دولار الى ١١,٦٥٥ دولار للبرميل في ديسمبر عام ١٩٧٣ ، وقد أدت الزيادة الى اعطاء ميزة اقتصادية كبيرة للمحطات النووية كما أظهرت أنه بعد أن كانت المحطات النووية قبل عام ١٩٧٣ تتنافس مع المحطات التقليدية التي تعمل بالبترول عند أحجام ٢٠٠٠ ميجاوات كهربائي أو أكثر ، تغير الوضع الاقتصادي في عام ١٩٧٤ بحيث هبط حجم المنافسة الاقتصادية للوحدات النووية الى في عام ١٩٧٤ بحيث هبط حجم المنافسة الاقتصادية للوحدات النووية الى ثق ضوء هذه الأسعار الجديدة للبترول فان نظرة المستقبل بالنسبة للقوى أن ضوء هذه الأسعار الجديدة للبترول فان نظرة المستقبل بالنسبة للقوى النووية بصفة عامة وللمحطات النووية ذات الحجم الصغير أو المتوسط بصفة خاصة قد زادت بدرجة كبيرة.

وقد تلا ذلك امتداد نتائج هذه الدراسة للمسح الشامل للسوق بالنسبة للأربعة عشرة دولة المختارة لتغطية بقية الدول النامية الأخرى على أساس بحموع الدول التي لها حق في الحصول على معونة فنية من برنامج الأمم المتحدة للتنمية. وقد قامت الوكالة الدولية للطاقة الذرية بنشر نتائج المراجعة التي أجريت على الدراسة الأصلية لعام ١٩٧٣، وكذلك بعد توسيعها وامتدادها لتغطية جميع الدول النامية الأخرى، مع الأخذ في الاعتبار أسعار البترول الأكثر ارتفاعاً والتغيرات لاقتصاديات القوى النووية التي حدثت منذ عام ١٩٧٤.

جدول (١٧) تقديرات مستقبلية عن اضافات القدرة النووية في الدول النامية المستركة أد الــــ الشاماً. الـــة، الذي قامت به الـكالة الدولة المائة الذي قام ١٩٧٣

Corp	1-40	:-	1	1.3.Y	118	111	044
وغوسلافيا	1		,	-T:	7::	94	٤٨٠٠
رکنا	•	,	1	1	,	74	14
نايلاند	1	,	1	>	,	۲٦٠٠	>
شنفا فورة	1	,	,			77	
الفيليين	ı	ı	1	14	14	۳۸	۴۸
باكستان	171	1	1	,	,	٠.	,a :
الكسيك	1	,	ι	٥٨٠٠	٥٨٠٠	٠٠٧٤٠٠	٠٠ ٨٤٠٠
كوريا	370	1		*1	۳٦	۸۸٠.	۸۸۰.
417	ı	1	ı			7:	t
اليونان		1	1	١٨٠٠	۱۸:	24	٠٠ ٢٠
7		,	1	17	17:-	£ Y	٠٠ ٨٦
شيي	,	1	,	:		14	17
بنفلاديش	ı	ı	ı	,	,	-1	,
الأرجنتين	T 20	:		3 λ		٦	7
	(min. 6.0 abrilla)	اعرا	منخفض	ا مر	منعفض	بۇغ	منخفض
الدولة	القدرة النووية الحالية		الفدره الاصافية المفدره مستقبلياً بحلول عام١٩٨٠	المدرة الأص	القدرة الاصافية المقدرة الاصافية المقدرة المستقبلياً بحلول ١٩٨٥ مستقبلياً بحلول ١٩٨٥	F =	أ بحلول ١٩٩٠
	و المسح الشامل للسوق الذي قامت به الوكالة الدولية للطاقة الذرية عام ١٩٧٣	وق الذي ة	امت به الو	كالة الدول	ية للطاقة ا	لذرية عام ٧٧	ءَ ا

وقد أصدرت الوكالة الدولية طبعة مجددة في عام ١٩٧٤ للتقرير الخاص بنتائج الدراسات لمسح السوق للقوى النووية بالدول النامية . ويوضح الجدول رقم (١٣) النتائج التي وردت للتقديرات المستقبلية بعد المراجعة التي أجريت للقدرات النووية التي يلزم اضافتها في كل من الأربعة عشر دولة الأصلية . وتتمشى هذه الاضافات للقدرات النووية الواردة بهذا الجدول مع التقديرات المرتفعة الواردة بهذا الجدول رقم المرتفعة الواردة بهذا الجدول رقم (١٧) . ويمكن ملاحظة أن نتيجة هذه المراجعة للدراسات قد نشأ عنها زيادة في الاضافات للقدرات النووية مجلول عام ١٩٨٥ من ٢٠٤٠٠ الى حوالي ٨٦١٠٠ ميجاوات كهربائي ومجلول عام ١٩٩٠ من ٢٢٠٠٠ الى ١٩٦٠ ميجاوات كهربائي ومجلول عام ١٩٩٠ من ٢٢١٠٠ الى مربائي .

ويبين الجدول رقم (1) ملخصاً لنتائج هذه الدراسة الموسعة لمسح السوق للتوى النووية بعد امتدادها الى جميع الدول النامية الأخرى ، كما يوضح هذا الجدول كذلك الاضافات للقدرات النووية في مختلف المناطق لدول العالم النامي ويوجد بيان بالدول التي تضمنتها كل منطقة في نهاية الجدول . ويمكن أن نتبين أن السعة الكلية لقدرة المحطات النووية التي قد يمّ تركيبها خلال الفترة أكبر غو للطاقة النووية قد قد بيم تركيبها خلال الفترة أكبر غو للطاقة النووية التي قد يمّ تركيبها وبنفس أكبر غو للطاقة النووية قد قدر لمنطقة آسيا والشرق الأوسط وأفريقيا وبنفس المستوى تقريباً منطقة أوروبا ومنطقة الشرق الأوسط وأفريقيا ومنطقة أمريكا الوسطى والجنوبية . ويجب التأكيد على أن دراسة مسح السوق قد بنيت فقط على عنصر المنافسة الاقتصادية للمحطات النووية مع الموارد البديلة للطاقة . وباتالي فان نتائج مثل هذه الدراسات يمكن أن تؤخذ فقط كمؤشرات للطاقة ، وبان أن تؤخذ فقط كمؤشرات للطاقة النووية في المستقبل في أية دولة واقعية لخلط محددة . وان تحديد دور الطاقة النووية في المستقبل في أية دولة معينة ومدى ادخال الحطات النووية يتوقف بالاضافة الى الاعتمارات

جدول (١٣) تحديث التقديرات للمسح الشامل للسوق عن الاضافات للقدرات النووية في الدول النامية ١٩٧٤

اجمالي القدرات	القدرة الاضافية	القدرة الاضافية	القدرة النووية	
الاضافية المقدرة	المقدرة بحلول	المقدرة بحلول	الحالية	
بحلول ۱۹۹۰ (منحاوات	1940		"	الدولة
/ميجاوات كهربائي)	رميجورات كهربائي)	(ميجاوات کهربائي)	كهربائي)	
77	Y		720	الأرجنتين
1	18	_	_	بنغلادیش
١٧٠٠	٦٠٠	_	_	شيلي
0	17	_	-	مصر
0	٧٠٠٠	-	_	اليونان
140.	٦	-	_	جاميكا
۸٦٠٠	٣٠٠٠	-	٥٦٤	كوريا
4.4	٧٨٠٠	-	-	المكسيك
14	17	-	177	باكستان
1.4	17	-	-	الفيليبين
170-	170.	-	-	سنغافورة
٣٧٠٠	18	-	_	تايلاند
٥٠٠٠	14	-	-	تركيا
1	44	-	_ :	يوغوسلافيا
	YA - 0 -	-	1.70	المجموع

جدول (١٤) المسح الشامل الموسع للسوق ليشمل تقديرات اضافات القدرات النووية في جميع الدول النامية.

بجاوات كهربائي	القدرة النووية(م	تقديرات اضافات	
بحلول ۱۹۹۰	بحلول ۱۹۸۵	بحلول ۱۹۸۰	المناطق
٥٣٥٠٠	1740.	-	أمريكا الوسطى والجنوبية(١)
027	177	-	أوروبا والشرق الأوسط وأفريقيا ^(٢)
ATT0 .	484.]	آسياً والشرق الأقصى ^(٣)
***	1	-	دول التخطيط المركزي ⁽¹⁾
T19A0.	Y770.	-	الجموع

- الكسيك البرازيل الارجندين فنزويلا بيرو شيلي كولومبيا كوبا جامايكا -اورجواي - كوستاريكا - پناما - جهورية الدومنيكان - الاكوادور - بوليفيا - جواتيالا -السلفادور .
- (٣) اسبانيا يوفوسلافيا اليونان تركيا معمر الأراضي المحتلة الكويت العراق فاتا المفرب الجزائر نيجيريا لبنان الكاميرون سوريا البانيا أوغندا تونس زامبيا العربية السعودية .
 - (٣) الهند ايران تايوان كوريا باكستان تايلاند الفيليبين (لوزون) هونج كونج -سنفافورة - ماليزيا - أندونيسيا (جاوا) - جهورية فيتنام - بنظاديش .
 - (1) بولندك رومانيا _ تشيكوسلوفاكيا _ بلغاريا _ الجر .

الاقتصادية ، على مجموعة متنوعة من عوامل هامة أخرى وعلى تأثير اختناقات ترتبط بالحالة السائدة في هذه الدولة. وسيناقش هذا الجانب الهام بالنسبة لادخال الطاقة النووية في الدول النامية بالتفصيل في الباب الخامس من هذا التقريد . ويوضح الجدول رقم (١٥) أحدث التنبؤات عن الطاقة النووية في ختلف الدول النامية والتي نشرتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية في طبعة عام ١٩٧٨ من تقريرها بعنوان «مناعلات القوى في الدول الأعضاء » .

وتبين الأرقام الواردة بهذا الجدول أنه من المتوقع أن تبلغ سعة القدرات النووية ٢٨٨٢ ميجاوات كهربائي بحلول عام ١٩٩٠ وانها ستظل دون تغيير من الناحية العملية حتى نهاية عام ١٩٩٣. وبقارنة الأرقام الواردة بالجدول (١٥) بنتائج مسح السوق الوانافات من القدرات النووية المقدرة مستقبلياً حتى عام ١٩٠٠ والواردة بالجدول (١٣) والنتائج المراجعة لمسح السوق الواردة بالجدول (١٣)، يتضح أن أحدث التقديرات التي نشرتها الوكالة الدولية للطاقة النرية هي أكثر انخفاضاً من التقديرات المستقبلية السابقة لنتائج مسح السوق لعام ١٩٧٣ وتقل عنها بحوالي ٥٠٪، كما تقل كذلك عن النتائج الجددة لعام ١٩٧٤ وتقل عنها بحوالي ٥٠٪، كما تقل كذلك عن النتائج الجددة التقديرات المستقبلية ، فمن الواضح أن التوقعات لدور القوى النووية في الدول النامية عظيمة ، ومن المقدر أن القوى النووية في الدول النامية متزداد من مستواها الحالي الذي يبلغ حوالي ٢٪ الى ما يقرب من ٨٪ بحلول عام ١٩٨٥.

جدول (١٥) تقديرات مستقبلية حديثة عن نحو القدرة النووية في الدول النامية (الوكالة الدولية للطاقة الذرية ١٩٧٨) (ميجاوات كهربائي)

1998	199-	1440	144+	الدولة
10-0	10.0	910	950	الأرجنتين
1777	1777	1777	1777	بلغاريا
7777	7117	7117	777	البرازيل
۸۸۰	٨٨٠	۸۸.	_	كوبا
1784	1749	PAFF	1.79	المند
AAAY	AAAY	7087	17	ايران
7091	709A	2017	١٢٥	كوريا
18.4	١٣٠٨	۸۳۰۸	-	المكسيك
771	771	771	-	الفيليبين
777	777	777	177	باكستان
717	۸۱٦	۸۱٦	-	بولندا
11.	11.	£1.	_	رومانيا
1788	1788	1777	£ + A	المجر
٦٣٢	777	777	-	يوغوسلا فيا
77.	74.	77.	-	تركيا
٦	٦	_	-	تايلاند
777	777	-	-	مصر
YAA£Y	YAA£Y	75777	7040	الجموع

الباب الثاني

أنواع نظم مفاعلات القوى النووية

٢ ـ ١ مقدمة:

ية بناء مفاعلات القوى النووية الستخدمة في محطات الطاقة النووية لتوليد الكهرباء وتشغيلها لانتاج الطاقة الحرارية من خلال التفاعل الانشطاري المتسلسل لليورانيوم ٢٣٥ أو البلوتونيوم ٢٣٩ ، وتستغل الحرارة المتولدة من الانشطار في جيع أنواع مفاعلات القوى لانتاج الطاقة من خلال انتقال هذه الحرارة الى وسط تبريد لتوليد البخار الذي يدير مجموعة التربين والمولد لتوليد الكهرباء. وتقسم أنواع مفاعلات القوى بصفة عامة طبقاً للمناصر الأساسية لقلب المفاعل وهي المهدىء والمبرد وشكل الوقود المستخدم.

ويتناول هذا الباب الأنواع الختلفة لنظم مفاعلات القوى النووية التي تم تطويرها كما يتضمن وصفاً فنياً وبياناً لأهم خصائص التصميم لكل نوع من أنواع المفاعلات وكذلك استعراضاً وتقيياً للوضع الراهن وخبرة التشفيل لكل منها في محطات الطاقة النووية.

٢ - ٢ تقسم نظم مفاعلات القوى النووية:

يكن تقسيم نظم مفاعلات القوى التي تم تطويرها واستخدامها تجارياً في محطات الطاقة أو التي بلغت على الأقل مرحلة التشفيل كنموذج أولي الى ثلاث فئات رئيسية وهي: _

الفئة الأولى:

تضم هذه الفئة نظم المفاعلات التي اكتمل ثبوت اعتاد صلاحيتها وتجربتها . وتشمل أنواع المفاعلات التي أنشئت وتم تشغيلها في عدد من محطات القوى على النطاق التجاري والتي تممل وتنتج الطاقة بصورة مرضية ، وتتضمن هذه الفئة الأنواع الرئيسية الآتية : ..

- ١ مفاعلات الماء العادي المضغوط واليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة (PWR).
 - مفاعلات الماء العادي المغلى واليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة (BWR).
- ٣ ـ مفاعلات اليورانيوم الطبيعي المبردة بالغاز والمهدأة بالجرافيت (GCR).
- ٤ مفاعلات اليورانيوم الطبيعي والمبردة المهدأة بالماء الثقيل (PHWR).

وبالرغم من أن جميع الأنواع الأربعة السابقة قد استخدمت على المستوى التجاري في محطات الطاقة الكبيرة التي تم تشفيلها لسنوات عديدة ، الا أن الأنواع الثلاثة الأولى منها فقط هي التي يمكن الحصول عليها حالياً من الشركات المنتجة بينما لم يعد النوع الرابع متاحاً على النطاق التجارى.

الفئة الثانية:

تضم هذه الفئة نظم المفاعلات التي ثبتت جزئياً صلاحيتها وتجربتها ، وتشمل أنواع المفاعلات التي تم التشغيل الفعلي لنعوذج أولي واحد منها على الأقل مججم متوسط أو كبير ، والتي سيكون لها امكانية التطوير مستقبلاً للاستخدام في المحطات التجارية وتتضمن هذه الفئة الأنواع الرئيسية الآتية : _

- ١ المفاعلات المتقدمة المبردة بالفاز (AGE).
- ٢ المفاعلات مرتفعة الحرارة المبردة غازياً والمهدأة بالجرافيت (HTGR).
 - ٣ ـ المفاعلات المبردة بالماء العادي والمهدأة بالجرافيت (LWGR).
 - 2 المفاعلات السريعة المتوالدة (FBR).

وقد أنشئت الأنواع الأربعة السابقة اما كنموذج أولي أو للمعطات التجارية على نطاق محدود بحيث لا يمكن حالياً اعتبارها نظماً كاملة الصلاحية والتجربة. ورغم أن التصميم والتقنية لجميع هذه الأنواع قدتم تطويرها بدرجة كافية، وثبت نجاحها في انتاج الطاقة الا انها ما زالت تحتاج للمزيد من التطوير في التقنية وتحسين الاقتصاديات لتصبح من الأنواع المتاحة على المستوى التجارى لانتاج الطاقة على نطاق كبير.

الفئة الثالثة:

وتضم هذه الفئة كافة أنواع المفاعلات الأخرى التي أنشئت كمحطات تجريبية أو كنماذج أولية ولكن أعمال البحوث والتطوير التي تجري عليها عدودة نسبياً ، ورغم أن مفاهم تصميم المفاعل قد جربت الا أن تقييمها الكامل للاستخدام في المحطات الكبيرة يتطلب الكثير من أعمال التطوير ، ويكن أن يدرج تحت هذه الفئة أنواع المفاعلات التالية: _

- الفاعلات المهدأة بالماء الثقيل والمبردة بالماء العادي المغلي (HWLWR أو (SGHWR).
 - ٢ _ المفاعلات المهدأة بالماء الثقيل والمبردة غازياً (HWGCR).
 - " _ المفاعلات المبردة بالصوديوم والمهدأة بالجرافيت (SGR).
 - ٤ ـ المفاعلات المبردة والمهدأة بمواد عضوية (OMR).
 - ٥ _ مفاعل التحكم بازاحة الطيف النيوتروني (SSCR).

نظم المفاعلات الأخرى:

هناك عدد قليل من المفاهيم الأخرى التي بحثت للمفاعلات ، بجدر الاشارة اليها هنا باختصار مثل المفاعلات المتجانسة التي أثبتت جميع التجارب عدم نجاحها وكذلك نظم مفاعلات الوقود المسيل أو العالق، ولا يجري حالياً أي مزيد من العمل لتطوير هذه المفاهيم كما ان فكرة استخدام الأملاح السائلة

كمبردات للمفاعلات ثبت انها تسبب الصدأ بدرجة كبيرة. وهناك أيضاً فكرة المفاعلات التي تستخدم النيوترونات فوق الحرارية أو المتوسطة التي لم تظهر انها تعطى أية ميزات تبرر جدية مجمئها.

٢ - ٣ مسح لنظم مفاعلات القوى النووية:

أولا النظم كاملة الصلاحية:

٢ ـ ٣ ـ ١ مفاعلات الماء العادي المضغوط (PWR)

٢ - ٣ - ١ - ١ التطور التاريخي:

بدأت فكرة هذا النوع من المفاعلات لاستخدامها في محركات الدفع للوحدات المسكرية وتم تشغيلها بنجاح في الغواصات بالولايات المتحدة الأمريكية في بداية عام ١٩٥٤ عندما تم تدشين أول غواصة نووية المروفة باسم «نوتيلس ». وقد أعقب ذلك تطوير هذا النوع لتوليد القوى للأغراض المدنية وتم انشاء أول محطة كنموذج أولي للطاقة النووية في «شيبنج بورت » بقدرة كهربائية مقدارها ٢٠٠ ميجاوات.

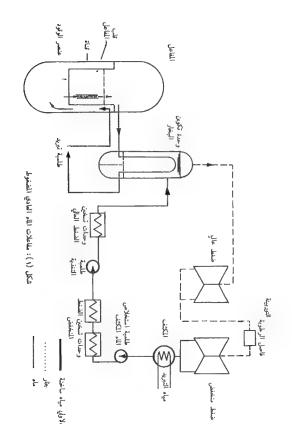
ويعمل الآن أكبر عدد من المحطات على المستوى التجاري التي تستخدم مفاعلات قوى من هذا النوع وبأكبر صافي للقدرة الكهربائية بكل من الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفييتي والمانيا الغربية وفرنسا، وهي الدول التي تمتبر جهات التصميم والتصدير الرئيسية ويعتبر هذا النوع للمفاعلات من الأنواع التي تم اعتاد صلاحيتها وتجربتها وقد أنشئت في كثير من الدول في أوروبا الغربية والشرقية واليابان وعدد من الدول النامية.

٢ - ٣ - ١ - ٣ - الوصف وسات التصميم الرئيسية:

يوجد قلب المفاعل داخل وعاء كبير يتحمل الضغط العالي وفيه يستخدم الماء العادي كمهدىء ومبرد في دائرة ابتدائية مغلقة ، وتمر المياء خلال هذه الدائرة الابتدائية الى مبادل حراري حيث يتولد في دائرة ثانوية البخار الذي يستخدم لادارة وحدة من تربين ومولد كهربائي لتوليد الطاقة الكهربائية. ويبين الشكل رقم (١) تمثيلا تخطيطياً مبسطاً لهذا النظام، ونظراً لأن ضغط التشغيل بداخل الوعاء الذي تخطيطياً مبسطاً لهذا النظام مرتفع نسبياً اذ يتراوح بين ١٥٠ و ١٦٠ كجم/مم فانه يلزم تصميم وعاء ضغط كبير وثقبل يصل وزنه الى مئات الأطنان، ونظراً لهذا الضغط المرتفع وكذلك ارتفاع كثافة القدرة بداخل وعاء الضغط واحتال انطلاق طاقة كبيرة جداً في حالة حدوث ما يسمى بأسوأ حادثة ممكنة فعن الضروري وجود وعاء احتواء خارجي آخر متين، وباستثناء وعاء الضغط فان باقي المكونات الأخرى للمفاعل يكن نقلها بسرعة وبحد أدنى من المسانع الى موقع المحطة ، كما يكن تركيبها بسرعة وبحد أدنى من المسالة.

ونظراً لأن درجة حرارة البخار الناتج تكون منخفضة نسبياً في حدود ٢٦٠ م فان ذلك يستلزم تصمياً خاصاً للتورين بحيث يكون أكبر حجماً وأقل كفاءة من التوربينات المستخدمة في المحطات التقليدية.

ويحتوي قلب المفاعل على وقود من اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة وتبلغ نسبة الاثراء في المتوسط بين ٢٩٥٪ ليورانيوم و٢٣٥، وتصنع قضبان الوقود من أقراص مصنوعة من مسحوق ثاني أكسيد اليورانيوم يوأم مغلفة بسبيكة الزركاللوي الذي حل محل الصلب الغير قابل للصدأ الذي كان مستحدماً كمادة تغليف في التصبيات الأولى. وقد بلغ تصميم أعمدة الوقود لا درجة كبيرة من الاعتادية بحيث أصبحت العيوب التي قد توجد في الوقود لا تؤدي الى أية مستويات اشعاعية ملموسة حيث ان الدائرة الابتدائية كلها محتواه ، ومحاطة بالدروع الواقعية. وقد بلغ متوسط احتراق عناصر الوقود قدراً كبيراً من الارتفاع ، ويزيد معدل الاحتراق في كثير من المحطات النووية قدراً كبيراً من الارتفاع ، ويزيد معدل الاحتراق في كثير من المحطات النووية الشغالة عن ٣٠٠٠٠ ميجاوات بيوم لكل طن .



و يجري التحكم في فاعلية المفاعل عن طريق أعمدة تحكم ماصة للنيوترونات وكذلك عن طريق مواد كيميائية ماصة للنيوترونات وقابلة للذوبان في المبرد مثل حامض البوريك الذي تتم اذابته بالتركيز المناسب في مبرد المفاعل.

وتتبح أعمدة التحكم اجراء التحكم السريع في الفاعلية وذلك لأغراض وقف تشغيل المفاعل ولمواجهة تغيرات الفاعلية الناتجة عن التغير في درجة حرارة المبرد في اطار نطاق قدرة المحطة. وكذا تغيرات الفاعلية المرتبطة بمامل القدرة للفاعلية ، وكذلك الناتجة من الفراغات التي تنشأ من المبرد. ويتم تغيير تركيز حامض البوريك للتحكم في التغيرات طويلة المدى للفاعلية والتي تنشأ عن استنفاذ الوقود ، وتراكم نواتج الانشطار ، وتغيير الفاعلية مع درجات الحرارة المختلفة عندما تكون القدرة صفراً ، وبسبب نواتج الانشطار متوسطة الأجل مثل الزينون والساماريوم وكذلك استهلاك السموم القابلة للاحتراق ، وبسبب كبر المعامل الحراري السالب للمفاعل تكون للمفاعل خصائص ذاتية للامان والاعتادية .

وعلى وجه العموم فقد تطور نظام التحكم في المفاعلات الى درجة عالية بحيث أصبح ينطوي على عدد من خصائص الأمان التي تتبح الاداء على اعلى مستوى من الامان والاعتادية بالنسبة لكل المفاعلات الشفالة.

٢ ـ ٣ ـ ١ ـ ٣ الخبرة في التشغيل:

تعتبر مفاعلات الماء المادي المضغوط أكثر النظم تطوراً بين مجموعة الأنواع كاملة الاعتجاد والمتاحة حالياً على المستوى التجاري . وأنشئت محطات كبيرة تبلغ صائي قدراتها الكهربائية ٢٠٠، ٢٠٠، ١٢٠٠ ميجاوات ، وتم تشغيلها وتصدر الآن بمرفة عدد من الشركات الصناعية بالولايات المتحدة الأمريكية (وستنجهاوس كومبستش المجنيرنج، وبابكوك وويلكوكس) ، وفي المانيا الغربية (كرافت فيرك يونيون)، وفي فرنسا (فراماتوم) وكذلك من الاتحاد السوفييقي .

وقد بلغ عدد مناعلات الماء العادي المضغوط (PWR) التي تم تشغيلها حق مايو ۱۹۷۸ ، ۸۰ مفاعلا يبلغ صافي الخرج لقدراتها الكهربائية ٥٠٠٠ ميجاوات ويبلغ عدد المفاعلات التي ما زالت في دور التخطيط أو تحت الانشاء ٢٣٨ مفاعلا صافي قدرتها الكهربائية ٢٢٦٠٠٠ ميجاوات ، وبذلك يكون عدد المفاعلات من هذا النوع التي تم تشغيلها أو في مرحلة التخطيط أو تحت الانشاء ٣١٨ مفاعلا يصل مجموع صافي قدراتها الكهربائية الى ٢٧٦٠٠٠ ميجاوات تمثل أكثر من ٢٠٪ من القدرات الكهربائية لجميع أنواع المفاعلات

وتعمل حالياً محطات الطاقة النووية التي تستخدم مفاعلات الماء العادي المضوط في ١٥ دولة كما يجري انشاؤها في ٢٢ دولة أخرى.

وتبين البيانات والأرقام السابقة أن خبرة التشغيل لفاعلات الماء العادي المضغوط هي بالتأكيد الأكثر وفرة من بين جميع النظم الأخرى المتاحة وان اعتادية هذا النوع من المحطات تكاد تتساوى مع اعتادية المحطات التقليدية. كما ان الاداء الحالي للغالبية العظمى من المحطات التي تم تشغيلها حتى الآن يتم بصورة مرضية، وتوضح الخبرة المكتسبة أن معامل التحميل لهذه المحطات يمكن اتخاذه بين ٦٠ ـ ٧٥٪ في الحسابات الاقتصادية والتخطيط.

وبالرغم من أن هناك بعض التحسينات الطفيفة التي يتم ادخالها على التصميم من الشركات المختلفة فانه لم يتم ادخال أية تغيرات تكنولوجية جوهرية على الأجزاء الرئيسية أو المواد المستخدمة. وقد اقتصر مجال التطوير الأسامي على الزيادة في حجم صافي القدرة الكهربائية للوحدات حيث تم زيادتها من حوالي ٢٠٠٠ ميجاوات للمحطات التي تم تشغيلها حتى عام ١٩٦٢ ، الى حوالي ١٣٠٠ ميجاوات للمحطات التي تمعل حالياً.

وقد بلغت الطاقة المولدة من محطات مفاعلات الماء المضغوط حق عام ۱۹۷۸ أكثر من ۱۰۰ بليون ك. و. س من الطاقة الكهربائية بما يعطي برهاناً اضافياً على مدى اعتماد وصلاحية هذا النوع من نظم المفاعلات.

٢ ـ ٣ ـ ٢ مفاعلات الماء العادي المغلي (BWR)

٢ ـ ٣ ـ ٢ ـ ١ التطور التاريخي:

تم تطوير نظام مفاعلات الماء المادي المغلي بدافع الرغبة في خفض التكاليف عن طريق الاستغناء عن المبادلات الحرارية المستخدمة في تصميم مفاعل الماء المادي المضغوط، وكذلك لتلافي الصعوبات التقنية التي ينطوي عليها تصميم وتشغيل المبادلات الحرارية.

وقد أجريت في الولايات المتحده الأمريكية بحوث نظرية مكثفة على ظاهرة الغليان في التجارب الشهيرة المعروفة باسم —BORAX التي دعمت التنبؤ بانه يمكن تصميم هذا النوع من المفاعلات بأمان واستقرار، وقسد أدى ذلك ال قيام شركسة جنرال اليكتريك الأمريكية بتطوير وانشاء محطة وفالسيتوس ، لاختبار مفاعلات الماء المغلي عام ١٩٥٧ بقدرة كهربائية صافي خرجها ٥ ميجاوات، ثم أعقبها انشاء بمدرة كهربائية ١٩٥٠ بدأ تشفيلها على المستوى التجاري في عام ١٩٦٠ بقدرة كهربائية ١٨٠ ميجاوات، ورغم تبني تصميم مفاعلات الماء المغلي على نظاق محدود في كل من الاتحاد السوفييتي وشركة (AEG) بالمانيا الغربية، الا عطات مفاعل الماء المعادي المغلي للتصدير الى الخارج. وبذلك تبقى شركة جنرال اليكتريك الأمريكية المنتج والمورد الوحيد على النطاق العالمي المغالي كل من البابان والهند وإيطاليا.

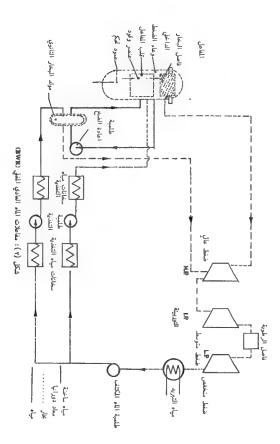
٢ . ٣ . ٢ . ٢ الوصف وسات التصميم الرئيسية:

يتشابه نظام مفاعل الماء العادي المغلي ذو الدورة المباشرة بصفة أساسية مع

نظام مفاعل الماء العادي المغلي ذو الدورة المباشرة بصفة أساسية مع نظام مفاعل الماء العادي المضغوط ولكنه يختلف عنه في ناحية واحدة هامة هي سريان البخار من وعاء الضغط للمفاعل الى التوربين مباشرة بدون وجود مبادل حراري بينهما ويبين الشكل رقم (٢) تمثيلا تخطيطياً لهذا النظام من المفاعلات. ونظراً لأن هذا النوع من المفاعلات يسمح فيه مجدوث الغليان فان ضغط التشغيل داخل وعاء الضغط يكون أقل كثيراً من النظام السابق لمفاعلات الماء العادي المضغوط، ويكون في حدود ٧٠ كجم/سم٢. وتؤدي هذه السعة من سبات هذا التصميم الى الساح بتصميم أوعية للضغط والدوائر المتصلة بها تكون أخف وزناً كما أنها تخفض درجة حرارة أغلفة الوقود ومسويات الإجهاد.

ونظراً لعدم وجود مبادلات حرارية وعدم الحاجة الى مضخات لضخ المياه في المحطات صغيرة القدرة والاقتصار على استعمال مضخات أصغر في المحطات الكبيرة الحجم فان نظام مفاعل الماء العادي المغلي يكون أخف وزناً من نظام مفاعل الماء العدرة.

وتتشابه حالة البخار الداخل الى التوربين من حيث الضغط ودرجة الحرارة ودرجة الجفاف مع حالته في نظام مفاعل الماء المادي المضغط ، ولذلك فان التوربين يتطلب كذلك تصمياً خاصاً ، الا أن الكفاءة الحرارية لنظام مفاعلات الماء المادي المغلي (BWR) تكون أكبر منها في نظام مفاعل الماء المادي المضغوط (PWR) نظراً لأن البخار ير مباشرة من وعاء الضغط الى التوربين دون أن يفقد جزءاً من طاقته في المبادل الحراري. ومن الاختلافات المجوهرية التي ترتبت على مرور البخار مباشرة من وعاء الضغط الى التوربين هي أن البخار يحمل معه بعض النشاط الاشماعي. وينتج هذا النشاط هي أن البخار يحمل معه بعض النشاط الاشماعي بوينتج هذا النشاط الاسماعي بصفة أساسية من عنصر النيتروجين ١٦ ، وهو نظير مشع قصير العمر جداً تبلغ فترة نصف عمره ٧ ثوان. ولذلك فان النشاط الاشعاعي في دائرة



البخار لا يوجد الا أثناء التشغيل فقط ، وقد برهنت خبرة التشغيل انه يمكن اجراء أعمال الصيانة على المياه المكثفة من توربين مفاعل الماء العادي المغلي وأجزاء مياه التغذية ، بعد ايقاف المفاعل دون تعرض كبير للاشعاع ، ولكن هذه الناحية ما زالت تؤخذ وتتعيَّم ضد صالح نظام مفاعل الماء العادي المغلي لرغم أن الخبرة الطويلة في تشفيل محطات تستخدم مفاعلات الماء العادي المغلي لم تظهر أن ذلك يشكل عيباً خطيراً الا في حالات خاصة عندما تكون هناك وحدة لازالة الملوحة ملحقة بالمحطة النووية ، وبطبيعة الحال ستتكون بعض الرواسب من المواد المشمة في التوربين ما مجمل أعمال الصيانة والترميم لها أكثر صعوبة . وتزداد تلك الصعوبات في حالة حدوث أعطال في أعمدة الوقود تؤدي الى تسرب نواتج الانشهار المشمة الى المبرد .

ومن سات التصميم الهامة لنظام مفاعل الماء العادي المغلي التي أدخلت في جميع التصميات للمحطات النووية هي استخدام «وعاء المحاد الضغط » بدلا من وعاء الاحتواء التقليدي . وفي هذا التصميم إما ان يحاط المفاعل بخزانات كبيرة للمياه أو أن يتم تحويل النواتج من خلال قنوات خاصة في حالة وقوع دوقة المياه أو أن يتم تحويل النواتج من خلال قنوات خاصة في حالة وقوع مثل هذه الميزانات بامتصاص الطاقة المتولدة في حالة وقوع مثل هذه الحادثة . ويؤدي ذلك الى استخدام وعاء أخف كثيراً في وزنه ، بجيث يكفي فقط لمقاومة تأثير موجة الصدمة الأولى . وتستخدم جميع تصميات مفاعلات الماء العادي المغلي هذا التصميم الحديث لنظام أوعية الاحتواء والمعروف باسم «مارك - ٣ » (Mark-III) - ورغم أن هذا التصميم قد أقرته هيئة التنظيات النووية الأمريكية (US NRC) وأصبح مقبولا ومستخدماً في جميع المحطات التي يجري انشاؤها على النطاق العالمي ، الا ان الخبرة الواسعة والكافية لتقييم أداء من ناحية الأمان والاعتادية لا زالت غير متوفرة .

ويستخدم في قلب المفاعدل وقود من اليورانيوم المشرى بنسبة

صغير تبلغ قيمتها المتوسطة في الشحنة الأولى لقلب المفاعل بين ١٠٦ و٢٦٨٪ بــــااوزن من اليورانيوم ٢٠٦٥. أمــاا الوقود الستخــدم بعد الشحنة الأولى فتكون نسبة اثرائه أعلى قليلا من ذلك حيث تبلك من ذلك حيث وتوجد داخل وعاء الضغط مجموعات الوقود وقضبان التحكم التي يتم تبريدها بواسطة المياه التي تضخ في دائرة التبريد الرئيسية ، وتصنع قضبان الوقود من أقراص مسحوق ثافي أكسيد اليورانيوم (يو أم) المغلف في أنابيب من سبيكة الزركاللوي ٢ » . ويكون متوسط احتراق عناصر الوقود كبيراً حيث يتجاوز خرج الحريق ٢٠٠٠٠ ميجاوات ـ يوم للطن الواحد في بعض المحطات التي تم تشغيلها .

وتصنع قضبان التحكم من «كربيد البورون » (B و B) المبأ في أنابيب من الصلب الغير قابل للصدأ ، ويتم تحريكها الى أعلى أو الى أسفل في قلب المفاعل بواسطة مجموعات هيدروليكية تدفع من أسفل وعاء الضغط وتسمح اما بالحركة المحورية لتنظيم الفاعلية أو بالادخال السريع للايقاف التام للمفاعل بالمناوع كما تؤدي قضبان التحكم أيضاً وظيفة توزيع القدرة في قلب المفاعل بالمناورة بمجموعة مختارة من تلك المقضبان داخل قلب المفاعل ، وهناك وسيلة اضافية مادة ثالث أكسيد الجادولينيوم «Gd2O3 » مخلوطة مع مسحوق ثاني أكسيد الروانيوم (Gd2O3 » مخلوطة مع مسحوق ثاني أكسيد الموازيوم (UO2) توضع في عديد من أعمدة الوقود بكل حزمة من حزم البيال للتحكم في الفاعلية يمرف «بمعامل الفاعات » نتيجة للغليان الداخلي الى جانب معامل فاعلية درجة المرارة السالب . وهذا يعطي للمفاعل القدرة على متابعة تغيير الاحال الكهربائية بسرعة كبيرة . وبصفة عامة فقد أظهر الداء نظم التحكم في محات مفاعلات الماء المادي المغلى النع تم تشفيلها سجلا

من الأمان والاعتادية ، رغم وجود بعض الصعوبات الطفيفة التي نشأت عن وسائل تحريك قضبان التحكم والشروخ في بعض الأجزاء للتصميات القديمة . ٢ - ٣ - ٢ - ٣ الخبرة في التشفيل:

يعتبر نظام مفاعلات الما المحطات الكبيرة التي تم تطويرها على نطاق واسع وهناك العديد من المحطات الكبيرة التي يصل صافي قدرتها الكهربائية الى ١٢٠٠ ميجاوات والتي تم انشاؤها وتعمل في عديد من الدول المتامية، وتعتبر شركة جنرال اليكتريك المتدمة صناعياً وفي بعض الدول النامية، وتعتبر شركة جنرال اليكتريك الأمريكية المصم والمورد الرئيسي فمذا النظام من المفاعلات، وعلى الرغم من تصميم وانشاء نظام مفاعلات الماء المعادي المغلي في الاتحاد السوفييتي وفي الماني المرسعة بواسطة شركة (AEG) الا انه ليس من بين الأنواع التي يعرضها الاتحاد السوفييتي للتصدير الى الدول الأخرى ولا المتاحة من المانيا الغربية على المستوى التجاري، والاتجاه السائد في السنوات الأخيرة هو ميل الشركات على المستوى المنتجرة الى تفضيل نظام مفاعلات الماء العادي المضغوط حيث توجد حالياً ثلاث شركات كبيرة تقوم بانشاء وعرض توريد محطات مفاعلات

كما ان شركة «فراماتوم » الفرنسية وشركة «كرافت فيرك يونيون » الالمانية اختارت أيضاً تفضيل نظام مفاعل الماء المادي المضغوط على نظام مفاعل الماء المادي المغلي للبرامج النووية المستقبلة في كل من فرنسا والمانيا الغربية . ويبلغ عدد مفاعلات الماء المادي المغلي التي تم تشغيلها ، حتى مايو سنة ١٩٧٨ ، ٥٥ مفاعلا يبلغ مجموع صافي قدراتها الكهربائية حوالي ٥٣٠ ميجاوات ، تمثل حوالي ٦٠ من من القدرة الكهربائية المنتجة من محطات مفاعلات الماء الممادي المضغوط الشفالة وحوالي ٣٠٠ من صافي القدرة الكهربائية المنتجة من جيم الحطات النووية الشغالة بكافة أنواعها .

وعدد المحطات الجارى انشاؤها أو الخطط لها أقل كثيراً اذ ٦٧ مفاعلا

فقط يبلغ صافي قدرتها الكهربائية ٢٩٠٠٠ ميجاوات تمثل أقل من ٣٠٠ من عطات مفاعلات الماء العادي المضغوط التي يجري انشاؤها أو الخطط لها ونسبة ٢٠٠ من صافي مجموع القدرة الكهربائية للمحطات تحت الانشاء أو التي في مرحلة التخطيط من كافة الأنواع، وتوضح الأرقام السابقة ان خبرة التشغيل لمحطات مفاعلات الماء العادي المغلي كبيرة وان اداءها مرضي، كما أنه يمكن اتخارت التخطيط المحطات من ٧٠ الى ٥٥٪ لأغراض التخطيط والاعتبارات الاقتصادية.

وقد أوضحت المقارنات الفنية والاقتصادية أن الفروق بين نظامي مفاعلات الماء العادي المضغوط ومفاعلات الماء العادي المغلي هي فروق طفيفة وان المفاضلة بينهما كانت دامًا تعتمد على نتائج الدراسات التفصيلية وعلى العوامل الخاصة ووفقاً للظروف السائدة في كل حالة على حدة.

٢ ـ ٣ ـ ٣ المفاعلات المبردة بالفاز والمهدأة بالجرافيت (GCR)

٢ ـ ٣ ـ ٣ ـ ١ التطور التاريخي:

تم تطوير المفاعلات المبردة بالغاز والمهدأة بالجرافيت والمعروفة باسم مفاعلات ماجنوكس «Magnox » في كل من المملكة المتحدة وفرنسا كجزء من برامجها العسكرية لانتاج البلوتونيوم.

ويفضل اختيار التبريد بالغاز بدلا من الماء العادي لانه أكثر أماناً ولا يحتاج الى الضغوط العالية جداً اللازمة في أنظمة مفاعلات الماء العادي. كما ان استخدام الجرافيت كمهدىء يسمح باستخدام اليورانيوم الطبيعي كوقود، ويحقق ذلك عدة مزايا لدورة الوقود أهمها انها أكثر تبسيطاً وملائمة لانتاج البلوتونيوم بالخواص ومستويات النقاوة المطلوبة للأسلحة النووية.

وقد تم التشغيل الكامل لأول محطة كنموذج أولي لانتاج الطاقة من هذا النوع للمفاعلات وهي المعروفة باسم «كالدرهول » في انجلترا خلال الفترة من عام ١٩٥٦ ـ ١٩٥٨ وتضم هذه المحطة أربع وحدات من المفاعلات قدرة كل منها ٣٨ ميجاوات كما تم في فرنسا تشغيل أول محطة كنموذج اولي وهي محطة (EDF-1) بمدينة «شينون » في عام ١٩٥٩ وتضم مفاعلين صافي القدرة الكهربائية لكل منهما ٣٩ ميجاوات . وقد أعقب ذلك تطوير سلسلة كبيرة من محطات الطاقة على المستوى التجاري في كل من انجلترا وفرنسا بقدرات أكبر كثيراً من مفاعلات الماء العادي التي أنشئت في أوائل الستينات. وقد صدرت المملكة المتحدة ثلاث محطات للطاقة من نوع المفاعلات المبردة بالغاز والمهدأة بالجرافيت الأولى منها لليابان وتعرف باسم «توكاي ميورا » بدأ تشغيلها في عام ١٩٥٦ بقدرة ١٨٠ ميجاوات ، والثانية لايطاليا وتعرف باسم «لاتينا » وبدأ تشغيلها عام ١٩٦٢ بقدرة قيمتها ٢٠٠ ميجاوات، والثالثة لاسبانيا وتعرف باسم « فاندليوس » وقد بدأ تشغيلها عام ١٩٧٢ بقدرة قيمتها ٤٨٠ ميجاوات. وعلى الرغم من التطور الكبير لهذا النظام من المفاعلات خلال المراحل الأولى من تاريخ تطور الطاقة النووية، وضخامة حجم البرامج التي تحققت في البداية بانشاء عدد كبير من تلك المحطات على المستوى التجارى ، الا أن تطويره قبد توقيف في كبل من انجلبترا وفرنسا لاعتببارات فنيسة واقتصادية. وبذلك صرف النظر عن انشاء هذا النوع من المفاعلات ولم يعد متاحاً للتصدير على النطاق التجاري.

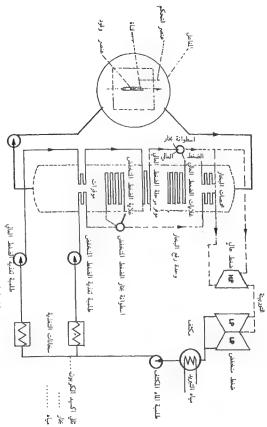
٢ ـ ٣ ـ ٣ ـ ٣ الوصف وممات التصميم الرئيسية:

يستخدم غاز ثاني أكسيد الكربون كمبرد في معظم المفاعلات المبردة غازياً والذي يتميز بخواصه الحرارية الجيدة ورخص ثمنه نسبياً. ورغم انه يمكن استخدام أنواع أخرى من الغازات للتبريد مثل المليوم أو الايدروجين فان الهليوم رغم انه يعتبر مثالياً من جميع النواحي الا انه باهط الثمن، أما الايدروجين فرغم تميزه بخواص حرارية ممتازة الا أن استخدامه يمثل خطورة

كبيرة نظراً لقابليته للاشتمال. وبمرور غاز ثاني أكسيد الكربون داخل قلب المفاعل تنتقل حرارته الى المبادلات الحرارية حيث يتم توليد البخار الذي يغذي مجموعة التوربين والمولد الكهربائي لتوليد الكهرباء بالطريقة التقليدية المعتادة، ويوضح الشكل رقم (٣) تمثيلا نخطيطياً لدائرة نموذجية لهذا النظام من المفاعلات.

نظراً لارتفاع درجة حرارة الغاز الناتجة فان البخار المولد يكون محصاً ويكن ذلك من تشغيل التوربينات بكفاءة أكبر، ويتم تلافي التصميم الناجة عن استخدام البخار الرطب المستخدم في أنظمة مفاعلات الماء العادي. كما انه يمن تصميم المفاعل ليزود بالوقود أثناء التشغيل وذلك نظراً لأن هذا النظام يمل عند ضغوط تقل كثيراً عنها في مفاعلات الماء المعادي، فانه في مفاعلات الماء المعادي المضغوط أو المغلي التي تستخدم وعاء الضغط، يلزم الايقاف التأم اللمفاعل لفترة من الزمن وذك بعض أجزاء وعاء الضغط لا جراء عمليات تغيير للمفاعل لفترة من الذمن وذك بعض أجزاء وعاء الضغط لا جراء عمليات تغيير الموقود. ولذلك فان المفاعلات المبردة غازياً تتميز بنسبة اعلى لاتاحة المحطة في المتواهد. هذا بالاضافة الى أن المفاعلات المبردة بالفاز لا تحتاج الى وعاء احتواء خارجي ضخم، بخدلاف الاحتواء الطبيعي المذي تعطيمه المدروع البيولوجية الواقية ودائرة الضغط، وذلك نظراً لاتخناض ضغط التشفيل الغنقاض معدل القدرة (ميجاوات لكل لتر) عنها في معظم أنظمة المفاعلات الأخرى.

وعثل استخدام الجرافيت كمهدىء احد المزايا الرئيسية لنظم المفاعلات المبردة غازياً اذ انه يتبح استخدام اليورانيوم الطبيعي كوقود للمفاعل دون الحاجة الى عملية الاثراء بما يسهل شراء الوقود من السوق المفتوحة، وتفادي القيود السياسية والاحتكارات للحصول على الوقود المثرى والخدمات المتصلة بدورة الوقود. ولكن نظراً لانخفاض كفاءة الجرافيت كمهدىء اذا ما قورن بالماء، فإن الحد الأدنى للمادة الانشطارية للوصول الى الحالة الحرجة بقلب



شكل (y): المفاعلات المبردة بالغاز والمهدأة بالجرافيت (بورانيوم طبيعي) (GCR)

المناعل يتطلب أحجاماً كبيرة من المفاعلات، ولهذه الاعتبارات فان هذا النظام يكون ثقيل الوزن وكبير الحجم جداً ويتطلب أن تكون أساسات المبائي والمنشآت أكثر متانة من التي تبنى للأنواع الأخرى من أنظمة المفاعلات ويستلزم ذلك أن تتم عمليات الانشاء للدائرة الابتدائية في موقع المحطة بما يتطلب توفير عدد كبير من عمال التركيب المهرة واقامة ورش خاصة مناسبة وجهزة بالمعدات الثقيلة بالموقع، ونظراً لثقل وضخامة حجم المفاعلات المبردة غازياً فان قدرة التحمل اللازمة للتربة التي تقام عليها المنشآت تصل الى ٥٣٥ كجم/سم"، بينما تبلغ قدرة احتال التربة اللازمة في حالة انشاء مفاعلات المادي حوالى ٢ كجم/ سم" فقط.

ونتيجة لكل السات التصميمية سالفة الذكر ، يتطلب انشاء نظام المفاعلات المبردة غازياً مجموعات كبيرة من الأفراد للانشاء كما تستغرق عمليات الانشاء مدداً أطول ما يترتب عليه ارتفاع كبير في تكلفة الانشاء كما ترتفع سعر الوحدة المركبة (لكل كيلوات) ارتفاعاً سريعاً مع انخفاض القدرة الكيربائية للمحطة وذلك نظراً لضخامة حجم المفاعلات حق عند القدرات الصغيرة نتيجة للقيود التي تفرض على التصميم. ويتكون قلب المفاعل من قوالب من الحرافيت توضع بداخله وحدات الوقود وقضبان التحكم. وتتكون وحدات الوقود من المبرانيوم النقي أو في صورة سبيكة مخففة من هذا المدن ، وذلك بسبب عدم امكان استخدام وقود في صورة الأكسيد أو الكربيد لليورانيوم الونيجة لانخفاض كفاءة الجرافيت كمهدىء فان المافات الفاصلة بين قنوات الوقود تكون كبيرة (حوالي ٢٠ سم) مما يسبب كبر حجم المفاعل كما سبق ذكره . ويستخدم في تغليف الوقود سبيكة من «المفنسيوم » معروفة باسم «ماجنوكس » وهو الاسم الذي يطلق عادة على هذا النوع من المفاعلات وقد

تشغيلها ما أدى الى زيادة نسبة الاتاحة لتلك المحطات على الشبكة الى أكثر من ٩٠٪ أما درجة احتراق الوقود فانها تقل كثيراً عن درجة الاحتراق في مفاعلات الماء العادي التي تستخدم اليورانيوم المثرى، اذ بلغ معدل خرج الاحتراق للوقود المستنفذ من بعض المحطات التي تم تشغيلها في حدود ٣٠٠٠ . ٤٠٠٥ ميجاوات ـ يوم للطن فقط .

ويمثل تسرب ثاني أكسيد الكربون أحد مشاكل التشغيل في تصميم هذا النوع من المفاعلات الغازية والذي يمكن أن يصل الى مستويات مرتفعة ويؤدي الى زيادة كبيرة في تكاليف التشغيل الا أن هذا التسرب مع ذلك لا يمثل أية خطورة جوهرية على الصحة.

ومن التغييرات الهامة التي أدخلت على تكنولوجيا هذا النوع من المقاعلات الغازية هي تطوير أنواع أوعية الضغط المصنوعة من الحرسانة سابقة الاجهاد ، والتي تتميز بالجمع بين تأدية وظائف الدرع البيولوجي الواقي ، ووعاء الضغط ، والاحتواء . ويؤدي تطبيق هذا النظام من أوعية الضغط الى توفير كبير في كميات اللحامات المطلوبة بالموقع كما انه يمثل زيادة كبيرة في درجة الأمان للمناعل.

٢ - ٣ - ٣ - ٣ الخبرة في التشفيل:

تستند مفاعلات اليورانيوم الطبيعي المبرد بالفاز والمهدأة بالجرافيت على خلفية من الخبرة الواسعة في التشفيل بكل من المملكة المتحدة، وفرنسا، وذلك بالاضافة الى المحطات الأخرى الماملة في ايطاليا واليابان واسبانيا. ويبلغ عدد المفاعلات الشغالة حتى مايو ١٩٧٨، ٣٦ مفاعلا يصل مجموع صافي قدراتها الكهربائية الى ٢٠٨٧ ميجاوات تمثل حوالي ٧٪ من مجموع صافي القدرات الكهربائية للمحطات النووية التي تعمل من جميع أنواع المفاعلات. ونتيجة لتطبيق أسلوب تغيير الوقود أثناء تشغيل المحطة فان نسبة الاتاحة على

الشبكة تكون عائية وتصل الى أكثر من ٩٠٠ وخلال الشتاء القاسي الذي ساد اغترا عام ١٩٦٢/١٩٦٢ تم تشغيل الأربعة مفاعلات في محطني الطاقة النووية في دبرادويل ، «وبيركلي ، بكامل طاقتها وبصورة مستمرة وبعامل اتاحة وصل الى أكثر من ٨٠٥ ، كما أن مفاعلات «كالسرهول ، المصمحة كنموذج أولي كانت تعمل بمامل اتاحة أكبر من ٨٠٠ . ولا يوجد حالياً مفاعلات غازية من هذا النوع تحت الانثاء أو بجري التخطيط لانشائها ، كما انها لم تعد متاحة على النطاق التجاري ، ومع ذلك فانه نظراً للخبرة السابقة للتشغيل والاداء لهذا النظام من المفاعلات فانه ما زالت تعتبر ضمن مجموعة الأنواع التي ثبتت صلاحتها كاملة .

٧ - ٣ - ٤ مفاعلات الماء الثقيل المضغوط (PHWR):

٢ ـ ٣ ـ ٤ ـ ١ التطور التاريخي:

كان استخدام الماء الثقيل كمهدئ بدلا من الجرافيت لمفاعلات اليورانيوم الطبيعي موضع مناقشات واسعة ومستفيضة خلال المرحلة الأولى من تطوير المفاعلات النووية للاستخدامات العسكرية ، فقد كان معروفا أن الماء الثقيل أفضل من الجرافيت كمهدئ ، ولكن رخص ثمن الجرافيت وسهولة تداوله أدت المحتياره للاستخدام في المفاعلات العسكرية الأولى لا تتاج البلوتونيوم . وقد ترتب على ذلك بعض التأخير في تطوير المفاعلات المهدأة بالماء الثقيل لانتاج الطاقة ، ولم يبدأ الا في عام ١٩٦٢ في كندا بتشغيل نموذج أولى للمحطة النوع من هذا النوع (NPD) كمحطة اختبار تجريبية بقدرة ، ٢ ميجاوات . وقد استخدم في التصميم الكندي لهذا المفاعل الماء الثقيل كمهدئ ميجاوات . وقد استخدم في التصميم الكندي لهذا المفاعل الماء الثقيل كمهدئ مائل التبريد للمرور في أنابيب ضغط تمر داخل وعاء المهدئ . وقد طور هذا النظام أيضاً في السويد وفي المانيا الغربية ، وبدأ تشغيل أول مفاعل سويدي عام النظام أيضاً في السويد وفي المانيا الغربية ، وبدأ تشغيل أول مفاعل سويدي عام

19٦٣ بقدرة ١٠ ميجاوات كما بدأ النموذج الأولي المعروف باسم MZFR في العمل بعدينة كارلسرو بالمانيا الغربية عام ١٩٦٦ وبلغ صافي قدرته المنتجة ٥٢ ميجاوات. وكان التصميم الالماني مماثلا بصفة أساسية للتصميم الكندي، أما التصميم السويدي فيختلف في ناحية هامة اذ استخدم الماء الثقيل المهدأ والمبرد في صفط كما في مفاعلات الماء المادي المغلى تماماً.

وقد تم تطوير هذا النظام من المفاعلات لمحطات الطاقة على المستوى التجاري بصفة أساسية في كندا باقامة وتشغيل عدد من محطات توليد الطاقة، أطلق عليها اسم «كاندو » (CANDU) للبرنامج النووي الكندي، بينما لم يصنع سوى مفاعل واحد بالمانيا الغربية من نوع الماء الثقيل، وقد صدرته شركة «كرافت ورك يونيون» الى الارجنتين ومعروف باسم أتوشا، وتم تشغيله في عام ١٩٧٤ بقدرة مقدارها ٣٤٥ ميجاوات، ويعتبرامتداداً لتصميم النوية الأولى للمفاعل MZFR الذي أنشىء في المانيا بقدرة ٥٠ ميجاوات، ولا يجري حالياً في تطوير آخر لهذا النوع سواء لبرنامج الطاقة الألماني ذاته أو للتصدير. وكذلك أوقفت السويد تطوير هذا النظام من المفاعلين من «طراز المحطة الأولى. وقد قامت المفند، بعد أن استوردت مفاعلين من «طراز كاندو» قدرة كل منهما ٢٠٠٠ ميجاوات بتطوير برنامجها الذاتي بانشاء مفاعلات القوى من نوع الماء الثقيل.

٢ - ٣ - ٤ - ٢ الوصف والسمات الرئيسية للتصميم:

تتكون مفاعلات الماء الثقيل المضغوط من مجموعة من أنابيب الضغط على شكل يسمى «كالندريا »، حيث يمر بها الماء الثقيل خلال قلب المفاعل في دائرة ابتدائية مغلقة، ويتولد البخار في الدائرة الثانوية خلال مبادل حراري، ويستمعل في ادارة وحدة التورين والمولد لتوليد الكهرباء. ويبين الشكل (٤) رساً تخطيطياً لدائرة غوذجية لهذا النوع من المفاعلات. ويتميز

تصميم هذه المفاعلات باستخدام وقود أمن اليورانيوم الطبيعي في صورة الأكسيد أكثر المناقد ويعت أن الأكسيد أكثر المقاراً ويتحمل درجات حرارة أكثر ارتفاعاً ، بالقارنة مع فلز اليورانيوم ، الذي يلزم استخدامه في المفاعلات المبردة غازيا والمهدأة بالجرافيت. وهذا بالإضافة الى قدرة الوقود على الوصول الى معدلات احتراق أكبر وبالتالي تكاليف أقل لدورة الوقود . ويبلغ متوسط معدلات الاحتراق للوقود بالمحطات الشغالة التي تستخدم مفاعلات الماء الثقيل حوالي ٩٠٠٠ ميجاوات ـ يوم للطن وذلك بالمقارنة مع ٣٠٠٠ ميجاوات ـ يوم للطن فقط لمفاعلات اليورانيوم الطبيعي المبردة غازياً.

ويتميز هذا النظام بصغر الحجم وارتضاع المدل الحراري عن نظام المناعلات المبردة غازياً ، ويمكن أيضاً انشاؤها بقدرات أصغر . ويسمح التصميم أيضاً بتغيير الوقود أثناء التشغيل بما يمكن تشغيل المفاعل بصورة مستمرة ويحقق اتاحة أكبر للمحطة حق في حالة حدوث عطب بالوقود . وحيث ان هذا النظام يعمل عند ضغوط مرتفعة ومعدل قدرات كبيرة فأن المفاعل يحتاج لوعاء احتواء . ويتطلب تصميم وعاء الضغط وشبكة أنابيب الضغط للمبرد استمعال مواد خاصة بدرجة عالية من الجودة ، وعمال لهم مهارات فائقة في الانشاء وتشغيل الآلات . وتتطلب دوائر الماء الثقيل مصميع خاصاً للمضخات والصهامات والموصلات لتقليل تسرب الماء الثقيل من هذا النظام للمفاعلات . ويمكن أن يمثل تسرب الماء الثقيل من هذا النظام المفاعلات . ويمكن أن يمثل تسرب الماء الثقيل مشكلة خطيرة ، فبالاضافة الى الريتيوم وهو عنصر ذو درجة عالية من الاشعاعية وسام جداً .

وهناك سمة أخرى لتصميم نظام مفاعلات الماء الثقيل وهي ، كما هو الحال في نظم مفاعلات الماء العادي المضغوط ، انتاج البخار عند درجات حرارة منخفضة مما يتطلب تصمياً خاصاً للتوربين لتناسب ظروف البخار الرطب ، وبذلك فانه لا يمكن الحصول على كفاءة حرارية عالية في هذا النظام أيضاً.

٣ - ٤ - ٣ - ١ الخبرة في التشفيل:

أثبتت الخبرة في تشغيل محطات القوى التي تستخدم مفاعلات الماء الثقيل التي تم تشغيلها في كندا والمانيا الغربية والسويد والأرجنتين وباكستان والهند، ان هذا النظام هو نظام آمن ويعول عليه ، ولا توجد مشاكل رئيسية في تصميمه أو تشغيله.

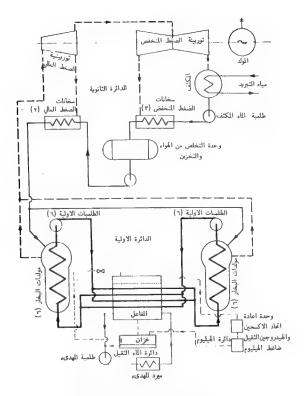
وتبلغ صافي القدرة الكهربائية لمحطات الماء الثقيل الثلاثة عشر التي تم تشغيلها حتى مايو ١٩٧٨ ، ١٩٧٥ ميجاوات ، هذا بالاضافة الى ٢٧ محطة يجري انشاؤها حالياً تبلغ صافي قدراتها الكهربائية ٢٢٨٠٠ ميجاوات . كما أن هناك محطة أخرى قدرتها ٥٦٠ ميجاوات تم التخطيط لانشائها في الأرجنتين . ومن المقرر ان تبدأ تلك المحطات في التشغيل خلال الفترة من عام ١٩٨٠ - ١٩٨٨ . وباستكمال انشاء تلك المحطات فان مساهمة مفاعلات الماء الثقيل ستصبح حوالي ٤٪ من مجموع القدرة الكهربائية الناتجة من جميع النظم للقوى النووية .

وعلى ضوء الخبرة السابقة لنظام مفاعلات الماء الثقيل فهي تمتبر ضمن مجموعة الأنواع المعتمدة الكاملة الصلاحية، كما انها من بين النظم الثلاثة المتاحة على النطاق التجاري، وتعتبر شركة الطاقة الذرية الكندية المحدودة المورد الرئيسي لهذا النوع من المحطات، ولا تقوم المانيا الغربية بعرض محطات الماء الثقيل للتصدير في الوقت الحاضر.

ثانياً نظم ثبتت صلاحيتها جزئياً:

٢ ـ ٤ ـ ١ المفاعلات المتقدمة المبردة بالغاز (AGR):

تم تطوير نظام للمفاعلات الغازية المتقدمة في كل من الولايات المتحدة



شكل (٤): غوذج لمفاعلات الماء الثقيل المضفوط (PHWR)

الأمريكية وانجلترا. وتم اجراء الأعمال الأساسية والتطوير في انجلترا حيث أن ذلك يعتبر امتداداً طبيعياً لمفاعل «الماجنوكس». وتم بناء أول نوذج تجريبي لهذا النوع من المفاعلات في «وندسكيل» بالقرب من «كولدرهول» وتم تشغيله منذ عام ١٩٦٢ بقدرة كهربائية مقدارها ٣٢ ميجاوات. وان الفرق الأسامي في تصميم هذه المفاعلات الغازية المتقدمة هو استخدام اليورانيوم الملبيعي المستخدم في «مفاعلات المجنوكس» وقد نتج عن هذا التغيير عدة تحسينات في الكفاءة. ويمكن تصنيع وحدات الوقود من أكسيد اليورانيوم بدلا من معدن اليورانيوم، وكنلك اختيار مادة التفليف للوقود بحيث تكون درجة انصهارها أعلى بكثير من درجة انصهار المفنسيوم.

ويستخدم النموذج الاولي من نوع المفاعل الفازي المتقدم والذي تم انشاؤه في «وندسكيل » الوقود المثرى بنسبة ٢٥٥٪ بالوزن من النظير ٢٣٥ لليورانيوم في شكل ثاني أكسيد اليورانيوم (لالور) في أنابيب رقيقة من الليورانيوم في شكل ثاني أكسيد اليورانيوم (لالور) في أنابيب رقيقة من أعلى من مفاعلات «الماجنوكس». وينتج هذا المفاعل بخاراً في درجة حرارة الوقود ارتفع من حوالي ١٠٠٠٠ ميجاوات ـ يوم للطن الى حوالي ٢٠٠٠٠ ميتم عيزات المفاعلات الغازية وأهمها القدرة على الممل عند درجات حرارة جميع بيزات المفاعلات الغازية وأهمها القدرة على الممل عند درجات حرارة المحمص بجودة عالية وبزيادة في الكفاءة الحرارية، ويتميز هذا النظام بصغر المحمد عدل القدرة ومن المكن بناؤه بتكاليف أقل من مفاعلات الحاجركس » ويستخدم المفاعل نظام اعادة التزود بالوقود أثناء التشفيل على الحمل ما يكن من الكشف على أعمدة الوقود المطوبة وتغييرها دون

الحاجة الى الايقاف التام للمفاعل. وبذلك تكون درجة الاعتاد على هذا المناعل أكبر من تلك لمفاعل لماء المادى.

ومن المشاكل الأساسية في تصمم المفاعلات الغازية المتقدمة هو الصدأ الذي يحدث للجرافيت بتأثير غاز ثاني أكسيد الكربون المرتفع الحرارة، وقد يسبب هذا تقصير عمر قلب المفاعل، ومن السات الأخرى لتصميم هذا المفاعل هي ضرورة استخدام وعاء احتواء خارجي للمفاعل نظراً لمعدل القدرة المرتفع. وتستخدم المفاعلات الفازية المتقدمة وعاء احتواء من الحرسانة سابقة الاجهاد مثل الذي تم استخدامه في التصميات الأخيرة لمفاعلات والماجنوكس ع.

وقد اقتصر تطوير فكرة المفاعلات الغازية المتقدمة في الولايات المتحدة الأمريكية على اقامة مغاعل غازي تجرببي (EGCR) يثابه لدرجة كبيرة تصميم المفاعلات الغازية المتقدمة ولكنه يستخدم غاز الميليوم كمبرد ما يؤدي الى تلافي بعض مشاكل الصدأ التي تحدث عند استخدام ثاني أكسيد الكربون كمبرد مع مهدئ من الجرافيت ويستخدم في المفاعل الغازي التجرببي (EGCR) الجرافيت كمهدئ والميليوم كمبرد واليور انيرم المثرى بنسبة ٢٤٦٦ كوقود، الجرافيت كمهدئ والميليوم كمبرد واليور انيرم المثرى بنسبة ٢٤٦٦ كوقود، معند احتراق الوقود ٢٠٠٠ ميجاوات يوم للطن للشحنة الأولى لقلب معدل احتراق الوقود ٢٠٠٠ ميجاوات يوم للطن للشحنة الأولى لقلب خبرة التشفيل للنموذج الأولى في مفاعل ووندسكيل عناجحة لدرجة كبيرة ، خبرة التشفيل للنموذج الأولى في مفاعل ووندسكيل عناجحة لدرجة كبيرة ، من المفاعلات الغازية المتعدمة وتم تشفيلهما في المملكة المتحدة منذ عام ١٩٧٧ ميجاوات هما عطة «هنترستون ب» بنفس قيمة القدرة الكهربائية .

ويبلغ عدد المحطات الشغالة من هذا النوع بانجلترا خمس محطات قيمة صافي طاقتها الكهربائية ٣٤٩٦ ميجاوات، تمثل نسبة ٣٦٤٪ من مجموع الطاقة الكهربائية المنتجة من جميع العطات النووية الشغالة. وتتضمن الخطط المستقبلية في انجلترا انشاء عشر محطات بالحجم الكامل من نوع المفاعلات الغازية المتقدمة منها ست محطات تحت الانشاء وأربعة مخطط لانشائها مجموع صافي قدراتها الكهربائية حوالي ٢٦١٧ ميجاوات تمثل نسبة أقل من ٢٪ من المجموع الكلي. ولا توجد أي خطط أخرى لانشاء محطات من هذا النوع خارج الملكة المتحدة.

وطبقاً للبيانات السابقة فان الخبرة المكتسبة من هذا النظام المفاعلات ما زالت محدودة ، وبالرغم من انه يجري تطويره فانه لا يعتبر من بين الأنواع المتمدة الكاملة الصلاحية ، كما انه ليس متاحاً تجارياً في الوقت الحالي .

٢ - ٤ - ٢ مفاعلات الحرارة العالية المبردة بالغاز (HTGR):

يعتبر تطوير مفاعلات الحرارة العالية المبردة بالغاز امتداداً لتطوير مفاعلات «الماجنوكس» والمفاعلات المتقدمة المبردة بالغاز بهدف تحسين التكنولوجيا للمفاعلات الغازية. وقد بدأ تطوير هذا النوع من المفاعلات أولا التلاولوجيا للمفاعلات الغازية. وقد بدأ تطوير هذا النوع من المفاعلات أولا المبروف باسم «بيتش بوتوم» في عام ١٩٦٦ بقدرة كهربائية مقدارها معمروف باسم مفاعل «بيبل بد» بقدرة كهربائية مقدارها ١٩٦٥ ميجوات، معروف باسم مفاعل «بيبل بد» بقدرة كهربائية مقدارها ١٩٦٥ ميجوات، مدينة «يوليش». وكان هناك اهتام بهذا النوع من المفاعلات بالمملكة المتحدة أيضاً ، أدى الى اقامة تعاون من خلال وكالة الطاقة الذرية الأوروبية في مشروع تجربي يعرف باسم مفاعل «دراجون». وما زالت هناك جهود أخرى التطوير هذا النظام في كل من الولايات المتحدة الأمريكية والمانيا الفربية توجد غاذج أولية لمحطات على المستوى التجاري بقدرات توليد تتراوح حيث توجد غاذج أولية لمحطات على المستوى التجاري بقدرات توليد تتراوح

بين ٣٠٠ و١٠٠٠ ميجاوات تم تشغيلها أو في دور الانشاء أو مرحلية التخطيط. ومن مميزات التبريد الغازى هي امكانية الوصول الى درجات حرارة عالية جداً دون الحاجة أن يكون تحت ضغوط عالمة جداً. وتعتبر هذه السمة أحد الأهداف الأساسية التي يمكن تحقيقها في تصميم المفاعلات الغازية ذات الحرارة العالية والتي تم تطويرها الان لانتاج بخار بستوى درجات الحرارة المستخدمة في معظم التوربينات البخارية الحديثة، بلغت ٥٤٠مم بالمقارنة بدرجات حرارة البخار وهي في حدود (٢٥٠م ـ ٢٧٠م) الذي ينتج من مفاعلات الماء العادى أو الماء الثقيل المضغوط. وأن الوصول الى مثل هذه الدرجة العالية لظروف البخار المنتج يوجد عدداً من المشاكل التكنولوجية الصعبة ، أولها وجوب أن يعمل الوقود عند درجات حرارة في حدود ١١٠٠°م وهي حرارة مرتفعة جداً حتى بالنسبة للصلب الغير قابل للصدأ ، ولذلك فانه من الضروري استنباط أشكال خاصة من الجرافيت لوحدات الوقود. وثانياً أن هذا الجرافيت الخاص المستخدم يجب معالجته حق يكتسب خاصة عدم الانفاذ والقدرة على الاحتفاظ بنواتج الانشطار داخل وحدات الوقود مع استمرار التشغيل عند درجات الحرارة المرتفعة. والوقود المستخدم في هذا النوع من المفاعلات الغازية المرتفعة الحرارة هو اليورانيوم المثرى بنسبة كبيرة تزيد عن ٩٠٪ من اليورانيوم ٢٣٥ ، والثوريوم ٢٣٢ الذي يتحول الى يورانيوم ٢٣٣ . وتتكون الشحنية الأولى للوقود من اليورانيوم المثرى بنسبة عالية والثوريوم ٢٣٢ بينما يتم في الشحنات التالية اعادة استخدام اليورانيوم ٢٣٣ المستخلص ليحل محل اليورانيوم المثرى بنسبة كبيرة . ويتكون المهدئ من قطع كبيرة من الجرافيت يوضع بداخلها حبيبات الوقود المغطى بالجرافيت وتبرد باستخدام غاز الهيليوم.

ما زالت خبرة التشغيل لمحطات الطاقة لمفاعلات الحرارة العالية المبردة غازياً محدودة وتقتصر على النماذج الأولية التي تم تشفيلها في المانيا الغربية منذ

عام ١٩٦٦ بقىدرة ٥ر١٣ ميجاوات ، وكنذلك في محطية « بيتش بوتوم » بالولايات المتحدة الأمريكية التي تبلغ قدرتها الكهربائية ٤٠ ميجاوات. وهناك محطة واحدة بالحجم الكامل بقدرة كهربائية قدرها ٣٣٠ ميجاوات معروفة باسم « فورت سان ڤرين » بدأت التشغيل على المستوى التجاري بالولايات المتحدة خلال عام ١٩٧٨ . وفي المانيا الغربية يجري انشاء محطة من هذا النوع بقدرة كهربائية ٣٠٠ ميجاوات، الى جانب محطة أخرى بقدرة ١١٥٠ ميجاوات خطط لتنفيذها ومن المتوقع أن تكون تحت الانشاء في بداية الثانينات، وينتظر أن يبدأ تشغيلها بحلول عام ١٩٨٨. وفي الوقت الحالي لا يوجد اهتام بهذا النوع من المفاعلات في أية دولة أخرى ، ويقتصر تطويرها الآن على المانيا الغربية والاتحاد السوفييتي فقط. وبالتالي فان هذا النوع لنظام المفاعلات ما زال محتاج الى المزيد من التطوير قبل أن يمكن تصنيفه ضمن مجموعة النظم المعتمدة كاملة التجربة والصلاحية. وبينما يتم التطوير في المانيا الغربية على المستوى التجاري بقدرات من ٣٠٠ الى ١١٥٠ ميجاوات فان تطوير هذا النظام بالولايات المتحدة الأمريكية حالياً أمر غير مؤكد حيث ان شركة « جَلْف جنرال أتوميك » وهي المسؤولة على تطوير هذا النوع من المفاعلات قد ألفت جميع التعاقدات للمفاعلات المرتفعة الحرارة المبردة غازياً منذ عام ١٩٧٥ ، ولم يتم الاعلان عن أي خطط محددة يكن الاستناد اليها في تقيم مستقبل تطوير هذا النظام من المفاعلات بالولايات المتحدة الأمريكية.

٢ ـ ٤ ـ ٣ مفاعلات الماء العادي والمهدأة بالجرافيت (LWGR):

بدأ تطوير مفاعلات الماء المادي المهدأة بالجرافيت في الاتحاد السوفييتي بصفة أساسية وبدرجة أقل في الولايات المتحدة الأمريكية. وقد استخدم هذا النوع من المفاعلات في أول محطة نووية ثم تشفيلها بالاتحاد السوفييتي في عام ١٩٥٤، وتم تشفيل محطات أخرى بالحجم الكامل منذ أوائل الستينيات. كما يوجد بالولايات المتحدة الأمريكية محطة نووية واحدة فقط من هذا النوع من

المفاعلات تعرف باسم «مفاعل هانفورد ـ ن » تم تشغيلها منذ عام ١٩٦٦ لتوليد الطاقة ولانتاج البلوتونيوم بصافي قدرة كهربائية قدرها ٧٨٤ ميجاوات. ويستخدم هذا النوع من المفاعلات اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة قدرها ٩٤١ر من اليورانيوم ٢٣٥ كوقود ، ويستخدم الجرافيت كمهدئ وعاكس ، والماء العادي المغلى كمبرد. وبالرغم من نجاح الاداء لهذا النظام من المفاعلات الا انه لا يتم تطويره بالولايات المتحدة حالياً ، كما انه لا يعرض للتصدير على المستوى التجاري بسبب ارتفاع تكاليف الانشاء . وما زال هذا النظام من المفاعلات يجري تطويره في الاتحاد السوفييتي لاستخدامه في المحطات التي تتم اقامتها هناك، ولكنه لا يعرض للتصدير الى الدول الأخرى. وهناك ١٣ مفاعلا من هذا التصميم لمفاعلات الماء العادي المهدأ بالجرافيت تم تشغيلها في الاتحاد السوفييتي حتى مايو ١٩٧٨ بصافي قدرة كهربائية تبلغ ٤٨٨٢ ميجاوات وهناك ثماني محطات أخرى تحت الانشاء بقدرة ٩٠٠٠ ميجاوات وعشر محطات أخرى بصافي قدرة كهربائية تبلغ ١٠٠٠٠ ميجاوات تم التخطيط لانشائها. وبالرغم من هذا التطوير الملموس، فإن هذا النوع من المفاعلات لم يعرض للتصدير في الأسواق العالمية كما انه لا يوجد اهتمام خارج الاتحاد السوفييتي لذلك فان هذا النظام من المفاعلات لا يكن اعتباره ضمن مجموعة النظم المعتمدة ، كاملة الصلاحية والتجربة .

٢ ـ ٤ ـ ٤ المفاعلات السريعة المتوالدة (FBR):

اتجه الاهتام الى تطوير المفاعلات السريعة المتوالدة على نطاق واسع ومكثف في الدول المتقدمة صناعياً منذ المراحل المبكرة لتطوير الطاقة النووية. ولقد كان هناك ادراك عام ان دخول المفاعلات السريعة التوالدة سبقدم بدون شك خطوة رئيسية في توفير الاحتياجات العالمية من الطاقة، وذلك لأن كمية الطاقة التي يمكن استخلاصها من موارد اليورانيوم بواسطة المفاعلات السريعة يمكن أن تصل الى أكثر من خسين ضعفاً من الطاقة التي يمكن

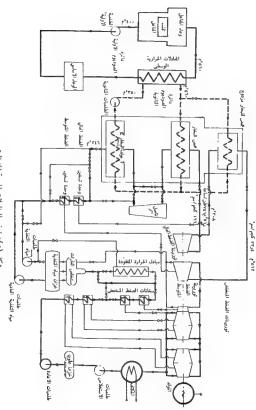
الحصول عليها باستخدام التكنولوجيا الحالية لأنظمة المفاعلات التي تعتمد على الانشطار النووى.

وقد بدأ تنفيذ برامج واسعة للبحوث والتطوير وغت اقامة المنشآت للنماذج الأولية والتجريبية للمفاعلات السريعة التي تم تشغيلها في كل من انجلترا والولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي والمانيا الغربية وفرنسا. وكان أول تلك المنشآت المفاعل المتوالد التجريي (EBR-1) الذي تم تشغيله في عام ١٩٥١ في ولاية « ايداهو » بالولايات المتحدة الأمريكية ، ومفاعل « دونري » التجريبي الذي تم تشغيله في عام ١٩٥٩ بانجلترا وقد أعقب اقامة وتشغيل هذان المفاعلان التجريبيان بناء وتشغيل المفاعل (EBR-2) في عام ١٩٦٣ بقدرة كهربائية ١٦ر٥ ميجاوات ، وتبع هذا اقامة محطات تجريبية أخرى جديدة في الولايات المتحدة الأمريكية أدت الى اقامة محطات على المستوى التجارى بعد ذلك، مثل محطة المفاعل التجريبي السريع المتوالد والذي تبلغ قدرته ٤٠٠ ميجاوات حرارى وتعرف باسم المحطة التجريبية ذات الفيض النويتروني السريع (FFTF) كماأنشيءالمفاعل السريع المتوالد المبرد بالمعدن السائل ويعرف باسم (LMFBR) أساساً لاختبارات الوقود ، وخواص المواد وتكنولوجيا الصوديوم وكذلك تصميم المفاعلات السريعة ، وطبقاً للجدول الزمني سيتم تشغيل هذه المحطة في عام ١٩٨٠ . وأن المفاعل السريع المتوالد الوحيد الذي بني في الولايات المتحدة هو «مفاعل فيرمى المتوالد » بقدرة خرج كهربائي تبلغ ٢٠٠ ميجاوات الا انه نتيجة لصعوبات فنية مختلفة واجهت المشروع أدت الى انصهار جزئ لقلب المفاعل في عام ١٩٦٦ ولم يتم اعادة استكمال بناء هذا المفاعل نتيجة للمشاكل الاقتصادية وصعوبة الحصول على التراخيص اللازمة. وان التطور في برنامج المفاعلات المتوالدة بالولايات المتحدة الأمريكية في المستقبل امر غير مؤكد حالياً نتيجة لسياسة الطاقة النووية الجديدة التي أعلنت في أبريل عام ١٩٧٧ وبالرغم من ذلك فان عدداً من المشروعات المختلفة قد بُيى، في تنفيذها أو تم التخطيط لها مثل مفاعل «كلينش ريفر » السريع التوالد (CRBR) الذي وضع التوقيت الزمني لتشغيله في عام ١٩٨٣، وكذلك غوذج أولي لمفاعل سريع التوالد كبير بالحجم الكامل يرمز له (PLBR) تم التخطيط لتشغيله في عام ١٩٨٨.

وبصفة أساسبة فان المحطات التي تستخدم المفاعلات السريعة المتوالدة تتشابه مع المحطات التي تستخدم نظم المفاعلات الأخرى. فالبخار يتولد في المبادلات الحرارية من خلال الحرارة التي تنقل بواسطة المبرد المعدفي السائل الذي ير بقلب المفاعل. والبخار المحمص المنتج يعمل على تشغيل مجموعة توربين ـ ومولد لانتاج الكهرباء بالطريقة التقليدية. ويبين الشكل رقم (٥) رساً تخطيطياً لدائرة نموذجية لمحطة توليد بها مفاعل من النوع السريع المتوالد.

ويعتمد تصمم المفاعلات السريعة المتوالدة أساساً على استمرار التفاعل المتسلسل الناتج من النيوترونات السريعة التي تنطلق في عملية الانشطار لكل من اليورانيوم ٢٣٥ أو البلوتونيوم ٢٣٩. أما فكرة التوالد فتنطوي على انتاج كميات للمواد الانشطارية أكبر من الكمية المستهلكة أثناء التشغيل، ولتحقيق ذلك تستخدم النيوترونات الزائدة التي تنطلق مصاحبة لعملية الانشطار في تحويل المواد الخصبة (اليورانيوم ٢٣٨ أو الثوريوم ٢٣٢) الى مواد انشطارية في تحويل المواد الخصبة (اليورانيوم ٢٣٨ أو الثوريوم ٢٣٢) الى مواد انشطارية (البلوتونيوم ٢٣٨ أو الثوريوم ٢٣٣) عن طريق التفاعلات النيوترونية المعروفة.

ويهدف تصميم المفاعلات السريعة المتوالدة الى الوصول للحد الأقصى لمدل انتاج المواد الانشطارية التي تتفق مع انتاج الطاقة وأمان التشغيل. وبالرغم من أن دورة الثوريوم واليورانيوم ٣٣٣ توفر بعض المزايا من ناحية الكفاءة النيوترونية ووفرة وجود الثوريوم وان اليورانيوم ٣٣٣ أقل خطورة على الصحة من البلوتونيوم ٣٣٣ من الثوريوم أسهل



شكل (٥): غوذج للمفاعلات المربعة المتوالدة

من فصل البلوتونيوم من اليورانيوم ، الا أن جميع المفاعلات السريعة التي تم الشاؤها حتى الان تستخدم دورة البلوتونيوم للوقود. وتستخدم المفاعلات السريعة اليورانيوم أو البلوتونيوم المثرى بنسبة كبيرة تتوقف قيمتها على متغيرات التصميم وتتراوح بين ٢٥٥ و ١٩٠٠ من اليورانيوم ٢٣٥ أو البلوتونيوم ٢٣٠. و ٢٨٠ في المفاعلات السريعة فان ذلك يضع قيداً على اختيار المبرد المستخدم ، ويستلزم ذلك استخدام العازات مثل الهيليوم أو المعادن السائلة مثل الصوديوم أو البوتاسيوم.

وفي الوقت الحالي فان تطوير تكنولوجيا المفاعلات السريمة المتوالدة يعتمد على تصميم المفاعلات المبردة بمعدن الصوديوم السائل الذي يستخدم الآن في الفائلية من النماذج الأولية للمفاعلات السريمة المتوالدة سواء التي تم تشفيلها أو التي بجري انشاؤها ومعدن الصوديوم السائل له درجة غليان أعلى بكثير من درجات الحرارة في أثناء التشفيل العادي للمفاعل ، كما انه يحتاج الى ضغط مرتفع بدرجة كافية لضان استمرار تدفقه خلال الدائرة الابتدائية للمفاعل ، بالرغم من ذلك فان التفاعل الشديد للصوديوم مع الماء يضم قيوداً كبيرة على تصميم وانشاء المبادلات الحرارية ، حيث يلزم الفصل التام بين الصوديوم الساخن المار في الدائرة الابتدائية وبين الماء المستخدم في الدائرة الثانوية السخار الذي يدير مجموعة التوربين والمولد .

وهناك أيضاً بعض القيود الأخرى على التصعيم بسبب درجة الاشعاع الشديدة بداخل قلب المفاعل، ما يؤدي الى تقصير المدة التي تمكن بقاء الوقود بالمناطق ذات الاشعاع العالي بقلب المفاعل حتى يتم اخراجه لاعادة معالجته. وظاهرتا الانتفاخ والزحف للمواد تنشأ عنها قيود أخرى بالنسبة للتصميم من ناحية اختيار المواد ذات الخواص المناسبة. ويلزم اجراء مزيد من البحوث الميثالورجية والتطوير لانتاج مواد بالحواص المطلوبة لتلافي ضرورة اللجوء الى تخفيض معامل التوالد أو انقاص درجات الحرارة والكفاءة

الحرارية بما يتفق مع خواص المواد المتاحة. وهناك مشكلة تكنولوجية أساسية أخرى ناتجة من ضرورة التغيير المتكرر للوقود من قلب المفاعل حق يمكن الحصول على معدلات عالية لاحتراق الوقود. وهذا بالتالي يتطلب تطويراً لمعدات بالغة التعقيد لدورة الوقود لاعادة المعالجة واعادة تصنيع المواد الانشطارية المفصولة في شكل وقود جديد.

ومع ذلك فانه رغم المشاكل والصعوبات السابق ذكرها فان التقدم الفني والتكنولوجي الذي تم احرازه خلال السنوات الأخيرة لتطوير المفاعلات السريعة المتوالدة المبردة بالمعادن السائلة من خلال الخبرة في التشغيل لمحطات النماذج الأولية وكذلك من تصميم غاذج أولية بأحجام كبيرة للمفاعلات السريعة المتوالدة ، اتضح أن جميع المشاكل الأساسية في التصميم والتكنولوجيا قد تم التوصل الى حلول مناسبة لها ، وتتركز الجهود الآن على مشاكل التطوير الهندسية. وقد تم تشغيل نماذج أولية لمحطات في كل من الاتحاد السوفييقي وفرنسا والمانيا الغربية وكذلك في المملكة المتحدة. ففي الاتحاد السوفييتي تم تشغيل محطتين الأولى معروفة باسم (BOR-60) بصافي خرج كهربائي مقداره ١١ ميجاوات في عام ١٩٦٩. ويستخدم في المفاعل بهذه المحطة وقود من اليورانيوم المثرى بنسبة ٩٠٪ ، وعاكس من الصلب واليورانيوم المستنفذ ويبرد بمعدن الصوديوم السائل. أما المحطة الثانية فتعرف باسم (BN-350) _ تم تشغيلها في عام ١٩٧٣ في «شيفشنكو » بصافي خرج كهربائي مقداره ١٣٥ ميجاوات. وأن الوقود المستخدم بهذا المفاعل نسبة اثرائه ١٧ و٢٦٪ من اليورانيوم أو البلوتونيوم ، ويستخدم غطاء من اليورانيوم الستنفذ ومبرد من الصوديوم السائل. وفي فرنسا تم تشفيل محطة واحدة عام ١٩٧٤ تعرف باسم (فينكس) قدرتها الكهربائية ٢٥٠ ميجاوات. ويستخدم في هذا المفاعل وقوداً من البلوتونيوم وعاكساً من الصلب واليورانيوم المستنفذ وللتبريد الصوديوم السائل. وفي الملكة المتحدة تم تشغيل محطة «دونري » منذ عام ١٩٧٧ بصافي خرج كهربائي مقداره ٣٣٠ ميجاوات، ويستخدم المفاعل اليورانيوم أو البلوتونيوم المثرى بنسبة ٢٥ الى ٣٠٠ كوقود، وعاكساً من الصلب واليورانيوم المستنفذ وسائلا للتبريد من الصوديوم. وفي المانيا الغربية تم تشغيل محطة (KNK-II) منذ عام ١٩٧٧ ميجاوات.

وفي ضوء خبرة التشغيل السابقة، والتي ما زالت بالطبع تعتبر محدودة نسبياً، فانه يمكن التيقن من جدوى اقامة محطات انتاج الطاقة الكهربائية بالمفاعلات السريعة المتوالدة والمبردة بالمعدن السائل على المستوى التجاري، وكذلك الثقة في تشغيل هذا النوع من المفاعلات بامان. وهناك ثلاث عطات كبيرة يجري انشاؤها حالياً على المستوى التجاري من النوع السريع المتوالد أولى هي محطة «سوبرفنكس» في فرنسا بقدرة ١٢٠٠ ميجاوات والتوقيت الزمني لتشغيلها هو عام ١٩٨٣. والمحطة الثانية هي محطة (BN-600) في الاتحاد السوفييتي بقدرة كهربائية ٦٠٠ ميجاوات والتوقيت الزمني لتشغيلها هو عام ١٩٨٣. وياشاء محطة بقدرة كهربائية ٢٩٢ ميجاوات يتوقع تشغيلها في عام ١٩٨٣.

بالاضافة الى ذلك هناك خس محطات أخرى كبيرة على المستوى التجاري تم التخطيط لانشائها في المانيا الغربية، وانجلترا واليابان، والاتحاد السوفييق يبلغ مجموع صافي قدراتها الكهربائية ٢٥٧٥ ميجاوات، كما توجد أيضاً عطات لمفاعلات سريعة متوالدة تجربيبة صغيرة بدأ في اقامتها في كل من ايطاليا والممند. وهناك الآن اتفاق عام بأن تطوير المفاعلات النووية السريعة المتوالدة يمثل أكثر الحلول التي تعقد عليها الآمال لتوفير الاحتياجات العالمية على نطاق واسع من الطاقة في المستقبل، وبتحقيق تنفيذ برامج المفاعلات السريعة المتوالدة التي يجري انشاؤها حالياً والخطط لتنفيذها فليس هناك شك في انه بحلول نهاية هذا القرن فان المفاعلات السريعة المتوالدة سوف تلعب دوراً بارزاً

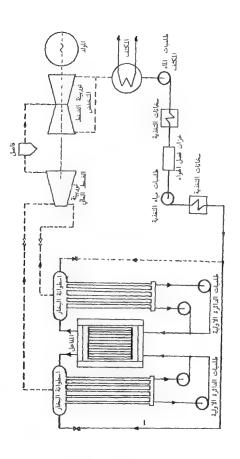
في مواجهة متطلبات الطاقة مستقبلا في العديد من الدول الصناعية المتقدمة ، و قد تستعملها أبضاً بعض الدول النامية .

ثالثاً نظم المفاعلات النووية المتقدمة:

٣ ـ ٥ ـ ١ المفاعلات المهدأة بالماء الثقيل والمبردة بالماء العادي المغلى
 HWLWR) أو (RGHWR):

طورت المفاعلات المبردة بالماء العادي المغلى والمهدأة بالماء الثقيل أساسأ لتحديد استخدام الماء الثقيل كمهدىء فقط بينما يتم التبريد باستخدام الماء العادي ونظراً لأن الماء الثقيل يشكل عنصراً مرتفع التكاليف سواء من ناحية غنه أو تكاليف التشغيل كما ان استخدامه يتطلب تصميات خاصة للطلبات المحكمة ضد التسرب والصامات والوصلات فمن المهم تخفيض الكميات المستخدمة منه لأقل حد ممكن. ويعتبر الفصل بين المبرد وهي الماءالعادي، والمهدئ المحيط به وهو الماء الثقيل، ضرورياً لمنع التلوث ونقص خواص الماء الثقيل، وتستخدم لهذا الغرض أنابيب الضغط بدلا من أوعية الضغط، ونظراً لأن الماء العادي المضغوط لم تظهر له مزايا كافية تبرر استخدامه في تصميم مجموعة التبريد ، فان تصميم النماذج الأولية يستخدم فيها للتبريد الماء العادي المغلى في صورة بخار ، وأهم ما يتميز به ذلك هو امكان توليد البخار المحمص مباشرة من المفاعل وعر مباشرة الى التوربين دون الحاجة الى مبادل حراري. وهذه السمة للتصميم تجعل هذا النظام من المفاعلات يفوق التصمم العادي لمفاعلات الماء المغلى الذي يمكن فقط من انتاج بخار مشبع عند درجات حرارة منخفضة ، ويجدر الاشارة هنا الى أن محاولات تحميص البخار نووياً في نظم مفاعلات الماء المغلى العادية لم تكلل بالنجاح.

ومن السات الهامة الأخرى لهذا النظام من المفاعلات هو امكان استخدام البورانيوم الطبيعي كوقود، وبالرغم من أن الوقود المثرى بنسبة صغيرة قد



شكل (٦): غوذج لفاعلات الله الثقيل والله الخفيف

استخدم في تصميم النماذج التجريبية الأولى لتحسين الاداء والكفاءة الا أن التصميم ذاته يسمح باستخدام اليورانيوم الطبيعي. وقد تم تصميم وتشغيل أول غوذج أولي من هذا النظام للمفاعلات بواسطة هيئة الطاقة النرية البريطانية في مدينة «وينفريث » بانجلترا ، وتعرف هذه المحطة بمفاعل الماء الثقيل مولد المخار (SGHWR) وبدأ تشغيلها في عام ١٩٦٧ بصافي قدرة كهربائية قيمتها المجاوات: وقد تم تشفيل هذه المحطة بصورة مرضية وبدرجة اتاحة حوالى ٧٩٠٠.

وفي كندا تم تصميم وتشغيل محطة يرمز لها (HWLWR) مثابة للنموذج الأولي البريطاني (SGHWR) استناداً الى خبرة كندا الواسعة في أنظمة مفاعلات الماء الثقيل المعروفة باسم «نظام كاندو ». وقد أنشئت هذه المحطة في «جنتيلي » بكندا وتم تشغيلها في عام ١٩٧٠ بصافي قدرة كهربائية قيمتها ٢٥٠ ميجاوات. وعلى خلاف المحطة البريطانية فان المحطة الكندية «جنتيلي » تستخدم اليورانيوم الطبيعي كوقود.

وببين الشكل رقم ٦ رساً تخطيطاً لدائرة غوذجية لهذا النظام ، من المفاعلات ويعطي الجدول رقم (١٦) مقارنة بين متغيرات التصميم في كل من المحطة البريطانية والمحطة الكندية لنظامي المفاعلات التي تستخدم الماء الثقيل كمهدىء (PHWR and BLWR Gentilly) وقد تم تشغيل المحطتين بصورة مرضية وبدرجة اتاحة جيدة في حدود ٩٠٠٪ رغم المشاكل التي واجهتها محطة «وينفريت » في البداية بسبب المطب لبعض وحدات الوقود.

ورغم أن الفكرة التي ينبني عليها هذا النظام للمفاعلات تعتبر مستندة الى أساس ثابت الا انه ما زال بلزم اجراء المزيد من أعمال التطوير قبل أن يمكن استخدامه في تشغيل محطات كبيرة على المستوى التجاري. وقد تم اعداد تصميات لحطات في انجلسترا بقدرات ٤٥٠ ميجاوات و٢٠٠ ميجاوات لاستخدامها في التشغيل على المستوى التجاري من هذا النوع (SGHWR) الا

جدول رقم (١٦) مقارنة بين متغيرات التصميم لقلب المفاعل والوقود في نظم مفاعلات الماء الثقيل

محطة جنتيلي (HWLWR or	محطة يبكرنج (PHWR)	محطة وينفريث (SGHWR)	متغير التصميم
(BLWR			
٨٤٠	1785	٣٢.	القلب: قدرة المفاعل (ميجاوات حرارة)
ەرە	۲٫۳۷	۷ر۳	القطر الفعال (متر)
٠ره	٩٤٤ر٥	۸۸ر۳	الطول (متر)
۲.۸	79.	١٠٤	عدد القنوات
1.	14	١	عدد وحدات الوقود
			(بكل قناة)
۲۰	۲۲ر۱۰	۱۲٫۹	الوقود : قطر وحدات الوقود (سم)
۵ر۶۹	۵ر ۱۹	דעדיי	طول القضيب (سم)
۰ر۲	۲۵۲۱	11ر1	قطر القضيب (سم)
زركالوي ـ ٤	زركالوي ـ ٤	زرکالوي - ۲	مادة التغليف
طبيعي	طبيعي	۳ر۲٪	نسبة التزويد
			للوقود يو أې

انه لم يتم انشاء أية مفاعلات بهذا الحجم بعد، وما زالت الخبرة محدودة وتقتصر على تشفيل المحطتين النموذجيتين وتبلغ قدرتهما ٣٥٠ ميجاوات. ورغم أن انجلترا ظلت لبعض الوقت تفكر في استخدام مفاعلات من نوع (SGHWR) لبرامجها المستقبلية للقوى النووية الا أن الملومات المتوفرة حالياً توضح انه لا يوجد محطات من هذا النوع من المفاعلات يجري انشاؤها الآن أو مخطط لا قامتها بالملكة المتحدة.

٢ ـ ٥ ـ ٢ المفاعلات المهدأة بالماء الثقيل المبردة بالغاز (HWGCR):

تم تطوير فكرة المفاعل المهدأة بالماء الثقيل والمبرد بالغاز على نفس الأسس السابقة التي تهدف الى قصر استخدام الماء الثقيل كمهدئ فقط وبالتالى خفض تكاليف الانشاء والتشغيل. وان استخدام الغاز في التبريد بدلا من الماء المادي كما في نظام المفاعلات السابق (SGHWR) ، يتاز بتوليد البخار بدرجات حرارة مرتفعة. وبالاضافة الى ذلك فان استخدام الماء الثقيل كمهدئ يكن من استخدام اليوانيوم كوقود . وكان أول اختبار لفكرة هذا النوع من المفاعلات هو انشاء تجربة لمفاعل قوى صغيرتم تشغيله في عام ١٩٦٦ بسويسرا بصافي قدرة كهربائية مقدارها ٦ر٧ ميجاوات. وهذا المفاعل مصمم بطريقة أنابيب الضغط ويستخدم فيه اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة (٩٦٪) كوقود والماء الثقيل كمهدئ وعاكس وغاز ثاني أكسيد الكربون كمبرد. وقدتم انشاء وتشغيل نموذج أولي لمحطة في فرنسا منذ عام ١٩٦٨ بصافي قدرة مقدارها ٠٠ ميجاوات تعرف برمز (EL-4) ويستخدم المفاعل اليورانيوم المزود بنسبة صغيرة ٧٣ر١٪ و١٦ر١٪ كوقود، والماء الثقيل كمهدئ وغاز ثاني أكسيد الكربون للتبريد. وفي المانيا الغربية هناك محطة يبلغ صافي قدرتها الكهربائية ٠٠ ميجاوات وتعرف برمز (KKN) تم تشغيلها منذ عام ١٩٧٠ ويستخدم في مفاعلها أيضاً اليورانيوم المزود بنسبة صغيرة (١٥١٥٪) كوقود، والماء الثقيل كمهدئ وغاز ثاني أكسيد الكربون كمبرد. وان تصميم المفاعلات الفرنسية والالمانية من النوع الذي يستخدم أنابيب الضغط ويبلغ صافي الكفاءة الحرارية التي تم الوصول اليها في تلك المحطات حوالي ٣١٪ ، ورغم النجاح الذي حققه تشغيل هذه النماذج الأولية للمحطات فلا توجد خطط لانشاء واقامة وحدات أخرى، كما ان هذا النوع لا يتم عرضه للتصدير للدول الأخرى، وقد تم انشاء وتشغيل المحطة الثالثة من نوع (HWGCR) في تشيكوسلوفاكيا في عام ١٩٧٢ بصافي قدرة كهربائية يبلغ ١١٠ ميجاوات ويختلف تصميم هذه المحطة عن التصميم المرنسي والالماني في ناحيتين رئيسيتين أولهما انها تستخدم اليورانيوم الطبيعي بدلا من اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة، والناحية الثانية هي استخدام وعاء الضغط بدلا من أنابيب الضغط، وقد سبب هذا الاختلاف الأخير مشاكل كبيرة في تصميم وتصنيع وانشاء وعاء الضغط عا أدى الى تأخير كبير في انشاء وتشغيل هذه المحطة والتي استغرق انشاؤها وقتاً طويلا جداً بلغ حوالي أربعة عشرة عاماً. وما زالت الخبرة في هذا النوع من المفاعلات عدودة جداً ولا يعرف اذا كانت هناك عطات أخرى منه سيتم اقامتها في المستقبل أو انها ستصبح متاحة للتشغيل على المستوى التجاري

٢ ـ ٥ ـ ٣ المفاعلات المبردة بالصوديوم والمهدأة بالجرافيت (SGR):

م تطوير فكرة هذا المفاعل المبرد بالصوديوم السائل والمهدأ بالجرافيت المتحدة الأمريكية على أساس أن استخدام الجرافيت كمهدئ والصوديوم السائل كمبرد يحقق ميزة تشفيل المفاعل بدرجات حرارة عالية وبالتالي امكان توليد بخار ذو نوعية عالية، والوصول الى كفاءة حرارية مرتفعة لانتاج الطاقة الكهربائية. ونظراً لجواص الانتقال الحراري المتازة لمدن الصوديوم السائل فان استخدامه يسمح بمدل قدرة مرتفعة وحجم مفاعل الأمريكية بقدرة ٧ر٥ ميجاوات ويعرف هذا المفاعل باسم مفاعل الصوديوم التجريبي (SRE) وتم تشفيله في عام ١٩٥٨، ويستخدم في هذا المفاعل البورانيوم والثوريوم المثرى بنسبة عالية ٩٣٪ كوقود والجرافيت كمهدئ والصوديوم السائل كمبرد.

وقد أدت الخبرة المكتسبة من هذه التجربة الى انشاء النموذج الأولى الوحيد الذي تم انشاؤه وتشغيله بالولايات المتحدة الأمريكية منذ عام ١٩٦٢ بصافي قدرة كهر بائية مقدار ها ٧٦ ميجاوات بدينة « هالام » بولاية نبراسكا . وهذا المفاعل مبرد بالصوديوم السائل ومهدأ بالجرافيت ويستخدم اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة ٦ر٣٪ كوقود والصلب الغير قابل للصدأ كمادة تغليف لأعمدة الوقود. ويبين الشكل رقم ٧ رساً تخطيطياً لدائرة غطية لهذا النوع من نظام المفاعلات. ويبلغ صافي الكفاءة لهذه المحطة ٦ر٣١٪ بدرجات حرارة تبلغ ٥٠٧°م عند خروج سائل التبريد ويبلغ معدل احتراق الوقود في المتوسط ٨٨٠٠ ميجاوات ـ يوم للطن وقد بلغت حداً أقصى مقداره ١٥٠٠٠ ميجاوات .. يوم للطن وباستخدام اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة يكن الحصول على نسبة تحويل اليورانيوم الى البلوتونيوم ٢٣٩ مقدارها ٥٠٠ ومن الممكن اتخاذ هذا التصميم بعد ادخال بعض التعديلات عليه للتشغيل كمفاعل قوى حرارية من النوع المتوالد الحراري باستخدام اليورانيوم ٢٣٣ كمادة انشطارية والثوريوم كمادة خصبة. ولكن نظراً لأن الخبرة المتاحة في هذا المجال ما زالت محدودة جداً حيث انه لم يتم التشغيل سوى لنموذج أولى واحد بقدرة ٧٦ ميجاوات فمن الصعب التكهن بان تكون الأنظمة لهذا النوع من المفاعلات متاحة للتشفيل على المستوى التجاري في المستقبل.

ولا توجد في الوقت الحاضر أية خطط لبناء محطات أخرى من هذا النوع سواء بالولايات المتحدة الأمريكية أو في أي مكان آخر. ويبدو أن المشاكل التكنولوجية الأساسية تتعلق باستخدام معدن الصوديوم من حيث ضرورة المحافظة على استمرار بقائه في صورة نقية تحت ظروف التشغيل المستمر، لان وجود أية شوائب وبصفة خاصة الهواء تسبب رواسب وأوساخ على الأسطح المعدنية للوقود والمبادلات الحرارية. وبالاضافة الى ذلك فان معدن الصوديوم يشتعل في المهواء وشديد التفاعل مع الماء ، ولذلك فان أي تسرب منه للجو

1220 ٧٠٥، الماعل الار المجم/مح الطلمية الاولية ثلاث دوائر أولية للصوديوم ١٠٦٠ كجم/ثانية ١٠٠٠ كجم/ثانية 244. خزان التمدد ثلاث دوائر ثانوية للصوديوم دائرة البخار #1230 10 Sten/mg

شكل (٧): نموذج لمفاعلات الصوديوم والجرافيت

الخارجي أو الى المبادل الحراري قد يؤدي الى حدوث حريق أو انفجار، ويمكن أن يؤدي ذلك الى وقوع حادثة نووية. ولكن تطوير تكنولوجيا استخدام الصوديوم للمفاعلات السريعة المتوالدة قد يؤدي الى تجديد الاهتمام بهذا النوع من أنظمة المفاعل، ولكن في الوقت الحاضر يمكن اعتباره فقط من الناحية التاريخية بالنسبة لتطور أنظمة مفاعلات القوى النووية.

٢ - ٥ - ٤ المفاعلات المهدأة والمبردة بالمواد المضوية (OMR):

يتشابه التطور التاريخي لنظام المفاعلات المهدأة والمبردة بالمواد العضوية مع تاريخ مفاعل الصوديوم والجرافيت. فقد بدأ تطويرها بالولايات المتحدة الأمريكية بمفاعل تجارب صغير أنشأته هيئة الطاقة الذرية الأمريكية. (USAEC) في عام ١٩٥٧ ، وكان معروفاً باسم « تجربة المفاعل المهدأ بالمواد العضوية «OMRE) ثم أعقب ذلك اقامة نموذج أولى لمحطة قوى أكبر قامت بانشائها وتشغيلها احدى الشركات التجارية ، بالولايات المتحدة ، وتعرف هذه المحطة باسم منشأة « بكواه » للقوى النووية (PIQUA) وبدأت عملها في عام ١٩٦١ بصافي قدرة كهربائية قدرها ١١ ميجاوات. ويستخدم في هذا المفاعل اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة (١٩٤١٪) كوقود ومركب عضوى سائل في دائرة مضغوطة بداخل قلب المفاعل كمهدىء. وقد انشأ الاتحاد السوفييتي أيضاً محطة تجريبية صغيرة من هذا النوع (OMR) تم تشغيلها في عام ١٩٦٣ عرفت باسم (ARBUS) بصافي قدرة كهربائية قدرها ٥ ميجاوات. والوقود المستخدم في هذا المفاعل من اليورانيوم المزود بنسبة كبيرة ٣٦٪، والمبرد والمهدأ من مركبات عضوية ، والعاكس من الألومنيوم مع مركب عضوي . وقد اتجه الاهتام بفكرة هذا النوع من المفاعلات أساساً لعدد من الخواص المرغوب فيها للسوائل العضوية مثل «الپوليفينيل » الذي له درجة غليان مرتفعة وبالتالي فانه يمكن توليد البخار في درجات حرارة عالية تحت ضغط تشغيل منخفض. هذا بالاضافة الى أن السوائل العضوية ليست سامة ، ومخاطر الحريق عند استخدامها فشيلة . وعلى النقيض من الصوديوم فان السوائل العضوية لا تسبب الصدأ وبذلك يمكن استخدام الصلب العادي في انشاء أجزاء آلمفاعل . ورغم كل هذه الحواص والصفات المتميزة للسوائل العضوية الا أن من عيوبها الرئيسية هو تحللها تحت تأثير التعرض للتشعيع ، فهي تتحلل (مكونة بعض الفازات) وتتبلع (Polymerise) مكونة مادة سميكة مثل القطران تتراكم داخل الأجهزة وتسبب اتساخها . ويتطلب ذلك تعويض السائل العضوي ، الذي يفقد نتيجة لهذا التحلل بصفة منتظمة عما يؤدي الى صعوبات فنية في التشفيل وزيادة في التكاليف .

ونتيجة لهذه الصعوبات الفنية كان الاهتام ضئيلا لمواصلة تطوير هذا النظام في الولايات المتحدة الأمريكية أو في أي دولة أخرى. وفي الوقت الحاضر لا توجد هناك خبرة مفيدة تذكر لتشفيل هذا النظام من نوع المفاعلات ويكن اعتباره ذو أهمية من الناحية التاريخية فقط.

٢ ـ ٥ ـ ٥ مفاعلات التحكم بازاحة الطيف النيوتروني (SSCR):

يتشابه هذا النوع من المفاعلات من الناحية الأساسية مع مفاعل الماء العادي المضغوط (PWR) ويمكن اعتبار معظم السات الفنية للتصميم ثبتت صلاحيتها وتجربتها الا انه نظراً لعدم انشاء أية غاذج أولية لهذا النظام من المفاعلات فقد تم اعتباره ضمن هذه الجموعة للمفاعلات المتقدمة.

وان الفرق الأساسي بين تصميم مفاعل التحكم بازاحة الطيف النيوتروفي ومفاعل الماء العادي المضغوط المعروف هو في نظام التحكم المستخدم. فيتم التبريد لقلب المفاعل بمخلوط من الماء العادي والماء الثقيل ويمكن تغيير النسبة بينهما حسب الحاجة. وتبماً لهذه النسبة يمكن تغيير الطيف النيوتروفي وبذلك يمكن التحكم في عدد النيوترونات الحرارية الداخلة الى الوقود. والتأثير الناتج

من هذا الأسلوب في التحكم هو امكان تغيير نسبة النيوترونات التي تتفاعل مع اليورانيوم ٢٣٥ وتودى الى الانشطار ، الى نسبة النيوترونات التي تتفاعل مع اليورانيوم ٢٣٨ لتكوين البلوتونيوم. وفي بداية التشغيل تؤخذ نسبة الماء الثقيل في مياه التبريد بحيث تكون أعلى من نسبة الماء العادي وبالتالي يتم زحزحة غالبية النيوترونات نحو اليورانيوم ٢٣٨ . وكلما استمر احتراق المادة الانشطارية بداخل أعمدة الوقود وانخفضت الفاعلية يتم زيادة نسبة الماء العادى تدريجياً باحلاله محل الماء الثقيل ويتم بذلك ازاحة الطيف النيوتروني ناحية التفاعل الانشطاري مع اليورانيوم ٢٣٥. ويتحقق التحكم في المفاعل هذا الأسلوب عن طريق إزاحة الطيف النبوتروني دون الحاجة المر استخدام النيوترونات المستهلكة السامة. وفي مفاعلات الماء المضغوط العادية لا يمكن التحكم الكامل في الفاعلية بواسطة قضبان التحكم نظراً لأن الضغوط العالية جداً تحد من عدد الفتحات التي يكن عملها في غطاء وعاء الضغط ، لذلك فان الطريقة المستخدمة حالياً في محطات الماء المضغوط هي «تسميم المفاعل » عمداً عند بداية التشغيل باضافة تلك «السموم » وهي مواد بها قابلية لامتصاص النيوترونات الى الماء أو باستعمال سموم قابلة للاحتراق توضع بداخل وحدات الوقود أو بداخل قلب المفاعل. ويتم التحكم بانقاص كمية السَّموم وبذلك يتم اطلاق (أو زيادة) الفاعلية مع استمرار التشغيل. وهذا الأسلوب في التحكم لا شك انه يؤدى الى فقد في النيوترونات وتكاليف كبيرة للتشغيل ورغم أن فكرة استخدام ازاحة الطيف النيوتروني في التحكم، والتي سجلت لها براءة اختراع من شركة « بابكوك اند ويلكولس » الأمريكية ، يمكن أن تؤدي الى تحسينات كبيرة في نظام مفاعلات الماء المضغوط الحالية فانه لم يتم وضعها موضع التنفيذ العملي في أية محطة من المحطات التي تم تشغيلها حتى الآن. الباب الثالث

دورأت الوقود النووي

٣ ـ ١ عناصر دورة الوقود النووي:

تتضمن مجموعة العمليات التي قربها المواد حتى تستعمل كوقود للمفاعلات النووية ، عناصر دورة الوقود النووي ، ويمكن تقسيم عمليات دورة الوقود الى مجموعتين رئيسيتين كالآتي : الجموعة الأولى وتشمل عمليات «الطرف الأمامي لدورة الوقود » والتي تفطي كل المراحل التي تسبق اتمام الاحتراق للوقود في قلب المفاعل وكذلك تفريفها الى وسائل التخزين وتشتمل على العمليات الرئيسية الثلاث الآتية: .

أ _ استخراج وطحن اليورانيوم.

ب _ تحويل اليورانيوم الى سادس فلوريد اليورانيوم« يوفل ٦ » والأثراء بالنظيم « يو ٣٣٥ ».

ج ـ تصنيع وحدات الوقود .

أما المجموعة الثانية فتشمل عمليات «الطرف الخلفي لدورة الوقود ». وتغطي كل العمليات التي تلي انتقال الوقود المشمع من قلب المفاعل الى وسائل التخزين وتشتمل على العمليات الرئيسية الثلاث الآتية: ـ

د ـ تخزين الوقود المستنفد.

هـ اعادة معالجة الوقود المحترق.

و _ التخلص من النفايات المشعة.

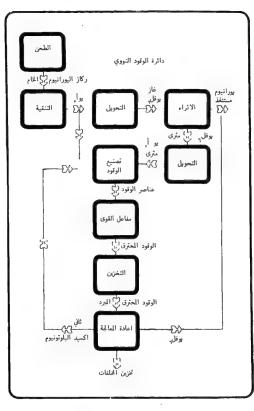
ويوضح الرسم التخطيطي في شكل (٨) العناصر المختلفة لدورة الوقود، وسيتم وصف هذه العناصر بايجاز في البنود التالية:

أولا الطرف الأمامي لدورة الوقود:

٣ ـ ١ ـ ١ استخراج وطحن اليورانيوم:

نظراً لأن البورانيوم - ٢٣٥ هو المادة الوحيدة الموجودة في الطبيعة والقابلة للانشطار النووى لذا فهي تمثل نقطة البداية لانتاج الوقود الضرورى لتشغيل المفاعلات النووية. ومنه أيضاً يستمد النظير الأكثر توافراً وهو اليورانيوم ٢٣٨ وهو المادة الخصبة لانتاج البلوتونيوم ٢٣٩ القابل أيضاً للانشطار النووي. وتعتبر أمريكا الشمالية وأفريقيا واستراليا مصادر لحوالي ٨٠٪ من موارد اليورانيوم المؤكدة والمضمونة ، وتوجد في صورة أحجار رملية مترسبة أو في تجمعات من البللور الصخري أو ترسيبات مشابهة أخرى مثل المترسيبات اللاتوافقية القديمة . وهناك مصادر فقيرة في اليور انيوم تمد العالم أيضاً بكميات اضافية صغيرة ويستخلص منها اليورانيوم كناتج ثانوي ، مثل اليورانيوم الناتج من خامات الفوسفات عند تصنيع حامض الفوسفوريك ومن المحاليل الناتجة من تذويب خامات النحاس. هذا بالاضافة الى مصادر فقيرة أخرى مثل الرواسب البحرية السوداء والفحم ، والفحم الحجري ومياه البحر . وتبذل جهود دولية على نطاق واسع للبحث عن اليورانيوم في دول متعددة في أمريكا الشمالية واستراليا وآسيا وأفريقيا وأوروبا وأمريكا اللاتينية، وقد زادت هذه الجهود في السنوات الأخيرة حتى بلغ مجموع ما ينفق عليها في حدود من ٤٠٠ الى ٥٠٠ مليون دولار سنوياً، وبنهاية عام ١٩٧٧، بلغ اجمالي الانتاج العالمي من اليورانيوم حوالي ٤٧٠٠٠٠ طن ويقدر معدل الانتاج السنوي في الوقت الحاضر بحوالي ٣٨٠٠٠ طن سنوياً .

ويعتبر توافر اليورانيوم من أهم العناصر الرئيسية لتطوير وتنمية الطاقة



شكل (٨): عناصر دائرة الوقود النووي

النووية ، وتتشابه طرق استخراج اليورانيوم الى حد كبير مع تلك الطرق المتخدمة في استخراج مناجم الفحم فيا عدا الملامح والاحتياطات الخاصة المتبعة في التعامل مع المواد الاشماعية . بعد استخراج اليورانيوم من المنجم تجرى عليه بعض المعليات الميكانيكية والكيميائية أو يطحن لتكوين ما يسمى و بالعجينة الصفراء » التي تحتوي على حوالي ٨٠٪ من أكسيد اليورانيوم (يوم أم) ، ويحتوي اليورانيوم الخام عادة على حوالي ١٠٠٪ فقعط من هذا الأكميد .

 ٣-١-٢ عملية التحويل الى سادس فلوريد اليورانيوم « يوفل ٢ » والأثراء بالنظير « يو ٣٣٥ »

 $\frac{1}{2}$ وله العجينة الصفراء المركزة من أكسيد اليورانيوم $(\frac{1}{2},\frac{1}{4})$ الى سادس فلوريد اليورانيوم $(\frac{1}{2},\frac{1}{4})$ وهو عبارة عن مركب من اليورانيوم يكون في حالة صلبة عند درجة حرارة منخفضة نسبياً وهي حوالي $\frac{1}{2}$ درجة مثوية. وهذه العملية (أي عملية التحويل) $\frac{1}{2}$ مثل خطوة أساسية لتحويل العجينة الصفراء الى مركسب من اليورانيوم في الحالة الغنازية ، وهي ضرورية في العمليات التالية المستخدمة في الاثراء بالنظير «يو $\frac{1}{2}$ » مذا وتعتبر التكنولوجيا المستخدمة في عمليات اثراء اليورانيوم بالنظير «يو $\frac{1}{2}$ » من الأسارا البالغة الحظر نظراً لأنها تؤدي الى طريق مباشر لانتاج الأسلحة النووية.

ولا تزال الدول النووية وبعض الدول المتقدمة صناعياً هي المسيطرة على عمليات اثراء اليورانيوم لعدة عوامل، في مقدمتها القيود المفروشة على المعلوسات والتكنولوجيا الخاصة بعمليات الاثراء ولأن معدات إثراء اليورانيوم لا يمكن اقامتها الا على نطاق كبير وبتكاليف باهظة وانها تحتاج في تشغيلها الى كميات ضخمة من الطاقة الكهربائية. ومن المعروف ان وسائل

اثراء اليورانيوم قد تم اقامتها في الصين واستخدمت لتطوير التفجيرات النووية الصينية. وبالتالي فقد بدأت تكنولوجيا عمليات اثراء اليورانيوم تمتد تدريجياً الى بعض الأقطار الأخرى اما بغرض تدعيم برامجها للاستخدامات المدنية للطاقة النووية أو لأغراض استراتيجية تستهدف الاستقلال في الطاقة النووية أو الحصول على المواد النووية القابلة للانشطار لانتاج الأسلحة النووية.

وتوجد وحدة اثراء تحت الانشاء في جنوب أفريقيا وتقوم البرازيل بالتعاون مع المانيا بتطوير وحدة مشابهة لهذا الغرض. وفي الوقت الذي نرى فيه أن عمليات اثراء اليورانيوم لا تزال من الجالات الحساسة فبا يتعلق بموضوع انتشار الأسلحة النووية ، نجد أن عمليات الاثراء تتاح لبعض الدول عن طريق معاهدات حكومية تحت اشراف الوكالة الدولية للطاقة الذرية. ويمكن الحصول على الوقود الذي تم اثراؤه من الولايات المتحدة والاتحاد السوفييق وبريطانيا وفرنسا وذلك لغرض استخدامه في مفاعلات الأبحاث ومفاعلات القوى . كما تقدم مجموعتان في أوروبا خدمات في مجال الاثراء وتعرف الأولى باسم « يورنكو » (URENCO) وتشترك فيها الملكة المتحدة والمانيا الغربية وهولندا ، والجموعة الثانية هي «يروديف » (EURODIF) في فرنسا. ويستعمل اليورانيوم المثرى بالنظير ٢٣٥ في مفاعلات الماء العادي والمفاعلات ذات درجات الحرارة العالية والمبردة غازياً وفي المفاعلات السريمة المتوالدة المنتجة للمواد الانشطارية من المواد الخصبة ، ويبلغ تركيز اليورانيوم ٢٣٥ في الخام الطبيعي حوالي ٧٠٠٪ وتزداد هذه النسبة الى حوالي ٢ _ ٤٪ في اليورانيوم المزود لمفاعلات الماء العادي أو الى درجة اثراء عالية ٨٠ ـ ٧٠٪ للمفاعلات السريمة المتوالدة وبعض مفاعلات الأبحاث والاختيارات. وتوجد حالياً أربع طرق لاثراء أو تزويد اليورانيوم هي، الانتشار الغازي، الطرد المركزى والطريقة الديناميكية الموائية، وطريقة اللور.

٣ - ١ - ٢ - ١ طريقة الانتشار الفازي:

تم تطوير طريقة الانتشار الغازى واستعملت أساساً لاثراء اليورانيوم اللازم لتصنيع الأسلحة النووية ولوقود المفاعلات، وتتم عملية الاثراء بامرار غاز سادس فلوريد اليورانيوم (يوفل,) خلال حاجز مسامى ، فتمر من خلاله جزيئات الغاز الخفيفة التي تحتوي على يو ٢٣٥ بعدل أسرع من الجزيئات الثقيلة الحاملة للنظير يوم ٢٣٨. ونظراً لأن كمية الفصل الناتجة باستعمال حاجز واحد تكون قليلة نوعاً ما ، فانه يلزم استخدام عدد كبير من الحواجز لامكان الحصول على درجة اثراء ذات قيمة عملية. وللوصول الى درجة اثراء ٣٪ من يو ٢٣٥ ابتداء من النسبة في سادس فلوريد اليورانيوم الطبيعي فان عملية الاثراء تحتاج الى حوالي ٤٠٠٠ مرحلة من الحواجز تقريباً. وتعتمد كمية التغذية من اليورانيوم الطبيعي على درجة النقاوة المطلوبة يو ٢٣٥ في اليورانيوم المستنفذ بعد عملية الاثراء والتي تتغير بين ٢ر٠ الى ٣ر٠٪ من يو ٢٣٥ وعلى سبيل المثال عندما تكون هذه النسبة ٢ر٠٪ من يو ٢٣٥ ، فان انتاج كيلوجرام واحد من اليورانيوم المثرى بنسبة اثراء ٣٪ يحتاج الى تغذية مقدارها ٥ر٥ كيلوجرام من اليورانيوم الطبيعي، وقد تم انشاء وتشغيل وحدات الانتشار الغازي في الولايات المتحدة والمملكة المتحدة والاتحاد السوفييتي وفرنسا والصين. وبالرغم من انه يعرف عن هذه العملية انها تحتاج الى كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية وانها تخضع لاقتصاديات الحجم الكبير، فانه من المكن انشاء وحدات الانتشار الغازي وتشفيلها بنجاح بأي قدرة انتاجية مطلوبة بما في ذلك امكان انشاء الوحدات الصغيرة منها. وعلى سبيل المثال فان الوحدة التي تم انشاؤها في بريطانيا تعمل بطاقة انتاجية مقدارها ٤٠٠ طن فقط من وحدات الفصل في السنة وهي تمثل نسبة ٥٪ فقط من الطاقة الانتاجية لواحدة من الوحدات الكبيرة بالولايات المتحدة.

٣ ـ ١ ـ ٢ ـ ٢ طريقة الطرد المركزي الغازي:

طورت المانيا الغربية وبعض الدول الأوروبية الأخرى طريقة الطرد المركزي الغازي للاثراء وطبقت بنجاح على المستوى التجربي، وتُبنى الآن على نطاق اقتصادي على المستوى التجاري، وتعتمد هذه العملية على قوة الطرد المركزي لفصل جزيئات سادس فلوريد اليورانيوم الخفيف ديوفل، عيتوي على اليورانيوم ٣٦٨ وتحتاج هذه العملية الى عدد أقل من المراحل وتستهك طاقة كهربائية أقل من عملية الانتشار الغازي، ان اقتصاديات هذه الطريقة غير عددة بحجم اقتصادي معنى مثل عملية الانتشار الغازي لذا فانه يمكن تطبيقها لبناء وحدات صغيرة دون أعباء اقتصادية كبيرة، وأن الجموعة المكونة من الملكة المتحدة والمانيا الغربية وهولندا والمعروفة باسم ديورنكو على الاستوى التجاري.

والجدير بالذكر أن الأبحاث الأساسية الخاصة بتطوير هذه الطريقة قد أجريت في المانيا، وان المعلومات التكنولوجية عنها محظورة، خلافاً لعملية الانتشار الغازى ويمكن الحصول عليها ضمن الأبحاث النشورة.

٣ ـ ١ ـ ٢ ـ ٣ الطريقة الديناميكية الهوائية:

هناك عدة طرق ديناميكية غازية تستخدم لفصل نظائر البورانيوم ومن أحسن هذه الطرق «عملية المنفذ النفاث لبيكر» (Becker jet nozzle) والتي يدفع فيها بخليط من غاز سادس فلوريد البورانيوم يوفل، والأيدروجين ليمر بسرعة عالية في مسار نصف دائري فتنفصل الجزيئات الثقيلة عن الجزيئات الخفيفة نتيجة لقوة الطرد المركزي، ومن المتوقع أن تكون تكاليف هذه الطريقة أقل منها في حالة الانتشار الغازي، بيد أن استهلاكها من الطاقة الكهربائية سوف يكون أكبر. وقد تم تطوير هذه الطريقة في المانيا الغربية، ومن المعروف أن الوحدة التي ستباع للبرازيل ضمن اتفاق التعاون بين المانيا والبرازيل في مجال الطاقة النووية ستكون من هذاالنوع.

ومن المعتقد أن عملية الاثراء في جنوب افريقيا تعتمد على هذه الطريقة.

٣ - ١ - ٢ - ٤ طريقة الليزر:

ما زال استخدام تكنولوجيا الليزر في عمليات اثراء اليورانيوم في مراحل تطويره المبكرة بمامل الأبحاث، وتمتمد هذه الطريقة على استخدام الليزر في الاستفادة من الفروق البسيطية في طاقيات الاثبارة لنذرات أو جزيئيات اليورانيوم ٢٣٥، ٢٣٥ وتعطي هذه الطريقة درجة عالية من الفصل في مرحلة واحدة، بينما تستهلك كمية أقل نسبياً من الطاقة الكهربائية. ومن الميزات الأساسية لهذه الطريقة انها تزيل الفاقد من اليورانيوم ٢٣٥ الذي يتبقى بعد عملية الاثراء والذي تصل نسبته عادة الى ٢٠٠٪ أبو ٢٣٥ في اليورانيوم المستنفذ عند انتهاء العمليات. وهكذا تمتبر هذه الطريقة من أنسب الطرق لاعادة استخلاص اليورانيوم ٢٣٥ من الكميات الهائلة من نفايات أو مخلفات اليورانيوم المستنفذ الناتجة من عملية الاثراء بالانتشار الغازي وطرق الاثراء الأخرى. وتحتوي هذه النفايات أو الخلفات على حوالي ٣٥٪ من اليورانيوم ٢٣٥ من وحدات عمليات الاثراء والتي يكن استمادتها بعد أن اليورانيوم المستنفذ التي يتم عادة تخزينها أو التخلص منها.

هذا ومن السابق لأوانه الآن التكهن بمستقبل هذه الطريقة من طرق الاثراء ولكن يكن القول بأن نجاح هذه الطريقة سيكون له أثر واضح على مصادر الطاقة من خلال استخراج اليورانيوم ٢٣٥ من كميات هائلة من المخزون المتراكم من المخلفات.

٣ ـ ١ ـ ٣ تصنيع وحدات الوقود:

تعتبر عملية تصنيع عناصر الوقود النووي لختلف أنواع المفاعلات واحدة من أرسخ الطرق التكنولوجية في الصناعة النووية. وأصبح من الطبيعي بالنسبة لمفاعلات القوى أن تقوم الشركات الموردة للمفاعل النووي بتنفيذ امدادات الوقود كجزء من المقود المبرمة طبقاً للتصميات والضائات اللازمة لضبط الجودة وكفاءة الاداء ودرجة احتراق الوقود في قلب المفاعل.

وتتوقف عملية تصنيع عناصر الوقود على نوع المفاعل ، فهي اما أن يتم فيها تحويل سادس فلوريد اليورانيوم المثرى (يوفل $_{\rm I}$) الى ثباني أكسيد اليورانيوم الطبيعي (يوم $_{\rm I}$) الى ثاني أكسيد اليورانيوم الطبيعي (يوم $_{\rm I}$) الى ثاني أكسيد اليورانيوم أو الى معدن اليورانيوم . وان الجزء الأسامي من وحدة الوقود عبارة عن أقراص اسطوانية خزفية صغيرة للوقود وتتكون من مسحوق ثاني أكسيد اليورانيوم (يو $_{\rm I}$) المثرى بنسبة صغيرة والذي يضغط على البارد ثم يلبد حتى تصل كثافته الى الحد المطلوب وهو $_{\rm II}$ من الكثافة النظرية لثاني أكسيد اليورانيوم (يو $_{\rm II}$).

وتوضع الأقراص الملبدة من ثاني أكسيد اليورانيوم في أغابيب ذات سمك رفيع تصنع من مادة خاصة مناسبة للتفليف مثل الزركالوي _ ٤ أو الزركالوي _ ٢ أو الصلب الغير قابل للصدأ لتكوين قضبان الوقود النووي . وتجمع قضبان الوقود في مصفوفات مربعة مترابطة لتكوين وحدات الوقود لقلب المفاعل ، ويجدد عدد قضبان الوقود وطرق ترتيبها داخل تلك الوحدات طبقاً لمواصفات تصميع قلب المفاعل .

وتصنع وحدات الوقود لمفاعلات اليورانيوم الطبيعي بطريقة مشاية اما من أقراص مسحوق أكسيد اليورانيوم الطبيعي (يو أب) ، أو بتصنيع قضبان معدنية في حالة المفاعلات التي تصمم بحيث يستعمل فيها نلز اليورانيوم كوقود.

وقد تم تطوير صناعة وحدات الوقود لعملية اعادة دورة استخدام البوتونيوم في صورة أكاسيد خلوطة من اليورانيوم والبلوتونيوم ، واستخدمت وحدات الوقود ذات الأكسيد الخلوط في بعض محطات القوى بالولايات المتحدة كما طورت أيضاً بنجاح طرق التصنيع المباشرة للوقود الحامل للثوريوم من مختلف الأنواع . وان الأنواع الأساسية لوقود الثوريوم المصنع والتي تم تطويرها هي وقود جرافيتي ، ووقود في صورة أكسيد مغلف بالفلز ثم وقود من معدن الثوريوم أو سبائكه . وهناك كثير من الاعتبارات والسات الهامة التي تدخل في عملية التصميم الميكانيكي وعملية تصنيع الوقود للمحطات النووية الكبيرة ، لضان سلامتها وتكاملها واستقرارها وكفاءة تشغيلها لمدة طويلة . وهذه تتضمن الضغط المسبق لقضبان الوقود لتقليل الاجهادات على مادة التغليف ، والتأثيرات الميكانيكية بينها وبين الوقود . وينتج عن ذلك تمديد واضح في حدود عمر التغليف ودرجة الاعتاد عليه . وتجري على وحدات واضح في حدود عمر التغليف ودرجة الاعتاد عليه . وتجري على وحدات الوقود قبل تركيبها في قلب المفاعل اختبارات وفحوص شاملة على أقراص الوقود وأنابيب التغليف والقضبان لضان درجة اعتادية عالية أثناء التشفيل .

وتشمل هذه الاختبارات والفحوص مجموعة اختبارات كيميائية وميكانيكية مثل اختبارات اجهاد الشد، واختبارات التأكل وفحص الأبعاد واختبارات باشعة أكس والموجات فوق الصوتية واختبارات تسرب الهيليوم. وعلى العكس من تكنولوجيا عمليات الاثراء فان تكنولوجيا عمليات تصنيع الوقود متاحة على الستوى التجاري من الشركات الصانعة. ويكن الحصول على عروض لا قامة هذه المصانع من المورد الرئيسي للمفاعل، وان الاعتبار الوحيد الذي يجب مراعاته لا تخاذ قرار بشأن انشاء وحدات تصنيع الوقود في أي دولة هو الجدوى الا قتصادية للمصنع من حيث حجم وعدد المحطات النووية التي يكن أن يغطى احتياجاتها من الوقود.

ثانيا الطرف الخلفي لدورة الوقود

٣ ـ ١ ـ ٤ تخزين الوقود المشعع:

يبدأ الطرف الخلفي لدورة الوقود بالتخزين المؤقت للوقود المستنفذ ذو الاشعاعية العالية وذلك بعد انتهاء فترة تشعيعه في قلب المفاعل، ويتم تخزين الوقود الذي سبق استعماله بوضعه على عمق عدة أمتار تحت سطح الماء في أحواض مملوءة بالماء ومصمعة لهذا الغرض في موقع المفاعل بمبنى ألوقود، وتصمع أحواض بسعة أكبر لاستيعاب شحنة كاملة من وقود قلب المفاعل ، ويمكن بناء أحواض بسعة أكبر لاستيعاب كميات أكبر اذا دعت الحاجة، وتزود هذه بالأحواض بنظام تبريد للتخلص من الحرارة المتولدة من الوقود الخزن ، وتصمم مجموعة التبريد بحيث تفي باحتياجات التخلص من الحرارة في الحالات التي يلزم فيها تفريخ وقود المفاعل للفحص أو للصيانة وكذلك في حالات الطوارئ ، وتعتمد فترة تخزين الوقود المستنفذ على استراتيجية دورة الوقود المتبعة للتخلص النهائي منه أو اعادة معالجته.

٣ ـ ١ ـ ٥ اعادة معالجة الوقود المستنفذ:

بعد فترة تبريد تصل الى حوالي عام في أحواض التخزين تكون بعدها غالبية نواتج الانشطار النووي المشعة ذات فترة نصف العمر القصيرة والمتوسطة قد اضمحلت يمكن نقل الوقود المستنفذ في أوعية مدرعة خاصة الى وحدات اعادة المعالجة. وتشمل عمليات اعادة المعالجة بجموعة من الخطوات الميكانيكية والكيميائية تجري في معدات مصمعة تصمياً خاصاً داخل خلايا ساخنةيكن التحكم في تشغيلها من بعد وتشمل أيضاً الأجهزة اللازمة للتحكم والوقاية من الاشماعات الناتجة من البلوتونيوم أو المواد الأخرى عالية الاشعاع. وفيها يذاب الوقود المستنفذ في خزانات خاصة وينقل الى الخلايا الساخنة حيث يتم فصل اليورانيوم والبلوتونيوم المتبقيان في الوقود المستنفذ عن الخلفات ذات الاشعاع العالى بطريقة الفصل بالإذابة . وتبلغ نسبة اليورانيوم المستخلص يو ٢٣٥ حوالي ١٪ أو أكثر ومن المكن تحويله الى سادس فلوريد اليورانيوم لاعادة الاثراء وتزويد عناصر الوقود الجديد للشحنات التالية للمفاعل كما أن البلوتونيوم المستخلص يتم تحويله الى ثانى أكسيد البلوتونيوم (بيو أ) لامكان الاستفادة منه في تكوين عناصر أكاسيد الوقود المزوجة والتي يستخدم فيها خليط من أكاسيد البلوتونيوم واليورانيوم ، وفيه يقدم (بيو أي) المادة القابلة للانشطار لدرجة الاثراء المطلوبة بدلا من اليورانيوم ٢٣٥. وتعتبر عملية اعادة المعالجة للوقود المحترق واحدة من أكثر عناصر دورة الوقود حساسية لانهما تمثل الخطوة الرئيسية التي يتم فيها استخلاص البلوتونيوم ٢٣٩ الذي يستخدم في صنع الأسلحة النووية . ولذلك فان تبادل الخبرة والتعاون الدولي في هذا المجال ما زال محدوداً الى درجة كبيرة ويخضع لقبود محكمة . وعلى الرغم من ذلك فان وحدات لمنشآت كاملة أو على مستوى تجريبي لاعادة المعالجة قد بنيت في عشر دول على الأقل وهي الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي وبريطانيا وفرنسا والمانيا الغربية واليابان واسبانيا والهند والارجنتين وبلجيكا . كما ان هناك عدداً من الدول الأخرى التي يوجد فيهاوحدات شغالة أو مخطط لها لاعادة المعالجة على نطاق معملي او غوذج تجريبي . والخدمات في مجال اعادة المعالجة على المستوى التجاري محدودة للغاية وتخضع لضوابط مشددة وقد تكون متاحة الى حد ما من فرنسا وبريطانيا . أما الولايات المتحدة الأمريكية فانها منعت تقديم أية خدمات في هذا الجال في اعقاب السياسة النووية الجديدة التي بدأ تنفيذها باعلان قانون منع الانتشار النووي في مارس ١٩٧٨ .

ويتركز الانتباه في هذه الأيام حول عملية اعادة معالجة الوقود النووي حيث تدور مناقشات مكثفة حول الجوانب المختلفة لها وهي تأجيل اعادة المعالجة أو انعكاساتها على الدول التي تطور برامجها النووية لاختبار فصل الماوتونيوم واعادة استخدامه في مفاعلات الماء العادي أو في المفاعلات السريعة المتوالدة. وتجرى من خلال هذه المناقشات دراسات مكثفة حول مختلف الاتجاهات التكنولوجية والاقتصادية لاعادة معالجة الوقود المحترق والمخاطر المحتملة للانتشار النووي. هذا ويحتوى الوقود المحترق الخارج سنوياً من مفاعلات الماء العادي على حوالي ٣٠ طن من اليورانيوم و٢٥٠ كجم من البلوتونيوم. والجدير بالذكر أن استخراج هذه المواد من الوقود المحترق باعادة المالجة سوف يقلل من احتباجات البورانيوم بنسبة ٢٠ ـ ٢٥٪ ومتطلبات الاثراء بحوالي ١٥٪. وقد برزت هذه الأيام اعتبارات أخرى بالنسبة لاجراء عمليات اعادة معالجة الوقود كنتيجة للمشاكل التي ظهرت في العديد من المحطات المنتجة للطاقة وهي امتلاء أحواض التخزين للمفاعل بعناصر الوقود المتنفذ، ومن المكن أن يسبب ذلك صعوبات في امكانية استمرار تشغيل هذه المحطات أو ما يتطلبه ذلك من بناء أحواض جديدة لتخزين الوقود المستنفذ، مما يزيد الأعباء الاقتصادية. ومن الاعتبارات التي تؤيد عملية اعادة معالجة الوقود المحترق انها تقلل الخاطر الطويلة المدى الناتجة عن النفايات الذرية ، كما انها تعطى البلوتونيوم الذي يستعمل في المفاعلات السريعة وهذا يؤدي بالتالي الى عدم الاعتاد للحصول على الطاقة على الموارد العالمية المحدودة والمتناقصة من المترول.

٣ ـ ١ ـ ٦ التخلص من النفايات المشعة:

تعتبر هذه المرحلة هي الحلقة الأخيرة من مراحل دورة الوقود وهي التخلص من النقايات المشعمة الناتجة من تشغيل مفاعلات القوى والمنشآت النووية الأخرى المستخدمة في المراحل الختلفة من دورة الوقود النووي. وتحتوي النفايات الناتجة من عملية الانشطار النووي على مواد مشعة متعددة ذات فترات نصف عمر تتراوح من ثوان قليلة الى آلاف السنوات ، وتكون معظم النفايات المشعة الناتجة أثناء التشغيل العادي للمفاعل في صورة غازية أو

سائلة . وتنتج كمية قليلة من النفايات أيضاً بسبب امتصاص المواد الانشائية الداخلة في تركيب الوحدات للنيوترونات وكذلك نواتج التأكل والشوائب الموجودة في المبرد والمواد الأخرى التي تتعرض للاشعاع داخل قلب المفاعل .

وعثل الوقود المستنفذ المصدر الرئيسي والمؤثر للنفايات المشعة، وتبلغ الطاقة الاشعاعية ذروتها بعد ايقاف المفاعل مباشرة وعلى سبيل المثال فان طن واحد من الوقود المستنفذ محتوي على ٣٠٠ مليون كوري طبقاً لمستوى طاقة التشغيل وفترة التشعيع للوقود، وتتناقص هذه الطاقة الأشعاعية الى حوالي ٢٠٠٠ ألف طن كوري بعد ١٠ سنوات وذلك بسبب اضمحلال النظائر المشعة ذات أنصاف الأعمال القصيرة والمتوسطة، ومن المفروض أنه بعد فترة تبريد معينة للوقود المحترق في أحواض التخزين المؤقت بموقع المفاعل ينقل الى عملية اعادة المعالجة.

وعند اعادة معالجة الوقود المستنفذ فان النفايات ذات الاشعاعية العالية تفصل وتعالج وتحول الى مواد صلبة لامكان التخلص النهائي منها في أماكن مناسبة. والجدير بالذكر انه باعادة معالجة الوقود المحترق تقل مشكلة التخلص من النفايات المشعة كثيراً ، كما أن الأخطار الطويلة المدى تقل أيضاً نتيجة لمناجة الوقود المحترق وهي تحزينه في أحواض داخل موقع المفاعل أو بعيداً عنه وهذا يتطلب دائماً اما زيادة مسعة التخزين لهذه الأحواض لتكفي الوقود علية الدائمة الموقود ذاتها . وتعتبر علية المناجرة للزاكم سنوياً أو التخلص النهائي من عناصر الوقود ذاتها . وتعتبر عملية التخزين الدائم للوقود المحترق من المشاكل التي لم تحل بعد ، وهي موضع دراسة في الوكالة الدولية للطاقة الذرية وفي العديد من الدول . وان ايجاد الحال النهائي لهذه المشكلة يسبب كثيراً من الاهتام والقلق ، ويتطلب الأخذ في الاعتبار امكانية التخلص من تلك النفايات في الطبقات الجيولوجية المختلفة الاعتبار امكانية التخلص من تلك النفايات في الطبقات الجيولوجية المختلفة الاعتبار ما يترتب عليه في حالة

تصدع الحواجز المتعددة التي تفصل النفايات المسعة. ويعتبر موضوع مداولة النفايات المشعة لمنع حوادث تسرب الاشعاع وضان التخلص منها بأمان من أهم المسائل الهامة الحاسمة التي يعتمد عليها مستقبل الطاقة النووية.

٣ - ٢ دورات الوقود النووي لنظم المفاعلات الختلفة:

أولا - نظم مفاعلات القوى كاملة الصلاحية:

يكن تقسم دورات الوقود المستعملة في نظم المفاعلات التي ثبتت صلاحيتها كاملة الى قسمين رئيسيين هما : _

٣ - ٢ - ١ دورة الوقود لليورانيوم الطبيعي:

ان نظام المفاعلات الوحيد المتوفر تجارياً في الوقت الحاضر الذي يستخدم فيمه اليورانيوم الطبيعي كوقود هو نوع مضاعلات الماء الثقيل المضغوط. وتستخدم دورة وقود اليورانيوم الطبيعي أيضا في المفاعلات المبردة بالغاز المهدأة بالجرافيت التي تعمل الآن، غير انه قد أوقف بناء هذا النوع من المفاعلات.

٣ - ٢ - ٢ دورة وقود اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة:

تستعمل في نوعين من نظم المفاعلات المؤكدة الصلاحية والمتاحة تجارياً وهما مفاعل الماء العادي المضغوط ومفاعل الماء العادى المفلى.

ولكل من هاتين الدورتين الرئيسيتين توجد استراتيجيتان لدورة الوقود من الممكن اتباعهما.

٣-٢-٣ استراتيجية دورة الوقود التي يستخدم فيها الوقود لمرة واحدة:

في هذه الدورة لا تم عملية اعادة معالجة الوقود المحترق أو الستنفذ وأيضاً لا توجد بالتالي عملية الارجاع أو اعادة الاستخدام لليورانيوم أو البلوتونيوم. وفي حالة نظام مفاعلات الماء العادي فان عناصر دورة الوقود في هذه الاستراتيجية تشتمل على عملية استخراج خام اليورانيوم الطبيعي وعملية الطحن لفصل أكسيد اليورانيوم (يوم $\frac{1}{N}$) ثم التحويل الى سادس فلوريد اليورانيوم المزود بنسبة صغيرة حوالي N يورانيوم N ثم التحويل الى أكسيد اليورانيوم وتصنيع وحدات الوقود وتشغيل المفاعل ، وأخيراً التخزين المؤقت للوقود المستنفذ في نفس موقع المفاعل ومن المتبع أن ينقل الوقود المستنفذ من مكان التخزين المؤقت لتخزينه نهائياً أو التخلص منه في منشآت خاصة.

وفي حالة مفاعلات الماء الثقيل حيث لا يستعمل الوقود المثرى فان عناصر دورة الوقود تعتبر أكثر بساطة عن دورة الوقود في مفاعلات الماء العادي وهي دورة الوقود الطبيعي ، والعمليات المستخدمة في هذه الدورة هي نفس العمليات السابقة فيا عدا عملية الاثراء لليورانيوم .

٣ - ٢ - ١ استراتيجية دورة الوقود باعادة استعمال اليورانيوم والبلوتونيوم:

في هذه الدورة تم ازالة الوقود المستنفذ من الخزن المؤقت الى وحدة اعادة المالجة حيث تم معاجته لفصل واستخلاص اليورانيوم والبلوتونيوم المتولد بالاشماع أثناء وجود الوقود في قلب المفاعل ويكون البلوتونيوم المستخلص في صورة ثافي أكسيد البلوتونيوم المستخلص في عمليات فلوريد اليورانيوم . ويستمعل ثافي أكسيد البلوتونيوم المستخلص في عمليات الاثراء الأخرى وذلك بخلطه مع ثافي أكسيد اليورانيوم الطبيعي لتكوين أقراص الوقود من مخلوط الأكسيد التي يم تصنيعها لوحدات وقود جديدة . أما سادس فلوريد اليورانيوم المستخلص والمثرى بنسبة صغيرة فانه يعاد اثراؤه الى درجة الاثراء الخبصة لمناصر وقود المفاعل . وعلى ذلك فان الشحنات التالية لوقود المفاعل تتكون من بعض وحدات الأكسيد الخلوط ووحدات أخرى من البررانيوم المثرى . وتعتبر استراتيجية دورة الوقود التي يتم فيها ارجاع أو

اعادة استعمال اليورانيوم والبلوتونيوم ممكنة من الناحية الفنية في مفاعلات الماء العقلات الماء الثقيل، وتم استعمالها بنجاح في بعض الحطات النووية لتوليد القوى بالولايات المتحدة التي بها مفاعلات الماء المادي والتي تستخدم فيها وحدات الأكسيد الخلوط. وبالرغم من ذلك فانه نظراً لسياسة الولايات المتحدة النووية الجديدة في الوقت الحاضر، لا يسمح بفصل البلوتونيوم واعادة استعماله في دورة الوقود بالنسبة لمفاعلات محطات الطاقة النووية الموجودة في الولايات المتحدة الأوريكية باتفاقيات ثنائية للتعاون مع الولايات المتحدة الأميركية .

ثانياً نظم المفاعلات المتقدمة:

يستخدم في كل نظم المفاعلات المتقدمة تقريباً اليورانيوم المزود بنسبة صغيرة أو عالية كوقود. وان استراتيجيات دورة الوقود المستعملة حالياً والتي تحت الدراسة في نظم المفاعلات الختلفة تشتمل على الآتى: _

 أ ـ دورة وقود الثوريوم للمفاعلات ذات درجات الحرارة العالية والمبردة غازياً أو المفاعلات السريعة المتوالدة أو المفاعلات الحرارية السريعة المتقدمة.

ب .. دورة الوقود للمفاعلات السريعة المتوالدة.

٣ - ٢ - ٥ دورة وقود الثوريوم:

هذه الدورة تشتمل على استعمال الثوريوم ٣٣٢ كمادة خصبة لانتاج اليورانيوم ٣٣٣ الانشطاري واعدادة المسالحة والاستخدام في دورة الوقود للبورانيوم ٣٣٣ الدي يتم فصله. ونتيجة لخصسائه من البورانيوم ٣٣٣ النيوترونية المنتازة ووفرة مصادر الثوريوم الرخيصة والمنتشرة في العالم لأن استعمال الثوريوم دائماً يشد الانتباء وامكانية انتباج اليورانيوم ٣٣٣ الانشطاري من الثوريوم ٣٣٣ تمثل مصدراً اضافياً لانتاج الطاقة حيث ان

نسبة اليورانيوم ٣٣٥ الانشطاري والموجودة في اليورانيوم الطبيعي تعتبر صغيرة جداً.

ومن أهم الميزات الفنية لدورة وقود الثوريوم - يورانيوم ان لها نسبة تحويل عالية وعمر أطول للوقود وذلك بالمقارنة بدورة الوقود الحالية لليورانيوم - بلوتونيوم . وفي بعض تصميات المفاعلات المتوالدة الحرارية التي تستخدم الثوريوم كوقود من المكن أيضاً توليد اليورانيوم ٢٣٣ بكمية كافية تمكن من الحصول على نظام التكرار الذاتي للدورة وادخال أي مادة مزودة اضافية . وعلى المدى الطويل يمكن القول بأن النجاح في تطوير المفاعلات التي تستخدم الثوريوم كوقود فانها سوف تقدم بديلا لحقط تطوير المفاعلات السريمة المتوالدة وهذا يرجع أماماً لصغر كمية المادة الانشطارية اللازمة لكل ميجاوات من سعة القدرة الكهربائية . وإذا أخذنا في الاعتبار وجود مصادر الثوريوم بصورة كبيرة وفي دول كثيرة والمديزات الكثيرة لدورة الوقود الخاصة بالثوريوم وتطورها فان هذا يمثل اتجاها هاماً لتحقيق طاقة نووية طويلة الأجل وقابلة للتنافس مع غيرها من مصادر الطاقة .

٣ - ٢ - ٥ - ١ تطبيق دورة وقود الثوريوم في انواع المفاعلات الختلفة:

لقد حظى استعمال وتطوير الثوريوم كوقود بكثير من الاهتام بالنسبة للتصميات القائمة فعلا للمفاعلات الحرارية ويمتبر نظام المفاعلات ذات درجات الحرارة العالية والمبردة بالغاز من أكثر النظم صلاحية لاستخدام الثوريوم ، كما ان استعمال الثوريوم بالنسبة لمفاعلات الماء العادي أو الثقيل والمفاعلات السريعة المتوالدة محكن من ناحية الصلاحية الفنية . وبالاضافة الى ذلك فان بعض المفاهيم المتقدمة للمفاعل وعلى وجه الخصوص تطوير توالد الثوريوم الحراري كان محل اعتبار الدول الكثيرة التي وجهت جزءاً كبيراً من مجهوداتها في البحث والتطوير الى الدراسات الخاصة بدورة الثوريوم . وقد كشفت كل نتائج الدراسات والتحليلات التي أجريت على استعمال الثوريوم كوقود والتي نشرت في العديد من التقارير عن تناقص الحاجة لخام اليورانيوم في جميع الحالات.

وتتلخص خطوات دورة وقود الثوريوم التي تستعمل في نظم المفاعلات ذات درجات الحرارة العالية والمبردة غازياً كالآتى : _

يتم أولاً استخراج خام اليورانيوم ثم يمر بالعمليات العادية سالفة الذكر حق خطوة الاثراء وفيها يثرى الى نسبة تزيد على ٩٠٪ من يو- ٣٣٥ ويجول الى صورة كربيدية. ويستخرج أيضاً خام الثوريوم ويتم طحنه وتحويله الى صورة كربيدية ثم يجمع اليورانيوم المثرى بنسبة عالية مع كربيد الثوريوم في كتل من الكربون لشحن قلب المفاعل. وبعد عملية التشعيع في المفاعل فان الوقود المتنفذ تتم معالجته ثانية لاستخلاص اليورانيوم ٢٣٥ الغير محترق وأيضآ اليورانيوم ٢٣٣ المتولد من الثوريوم، ويستعمل الأخير في عمليات الاثراء والشحن التالية أما النفايات الناتجة من المعالجة فيتم تحويلها الى الصورة المناسبة للتخلص النهائي منها. وأن برامج التطوير الخاصة بمفاعلات درجات الحرارة العالية والمبردة بالغاز والتي تستعمل دورة وقود الثوريوم تجرى بصفة أساسية في الولايات المتحدة والمانيا الغربية وأيضاً دول المجموعة الاقتصاديةالأوروبية، في المشروع المعروف باسم مفاعل « دراجون » التجريسي. وقد أقم في المانيا الغربيمة بالقرب من بلىدة يوليش مفاعل قوى تجريسي آخر معروف برمز (AVR) وقدرته ١٥ ميجاوات كهربائي ويعمل منذ عام ١٩٦٥ ، وتستخدم فيه جزئيات كروية مغطاة كوقود مكونة من اليورانيوم وكربيد الثوريوم الموزعة في قالب من الجرافيت. وقد أظهرت الخبرة في تشغيل هذا المفاعل بعض الصعوبات الفنية التي تتطلب مزيداً من البحث والتطوير وعلى الأخص طرق تصنيع وتناول الوقود الذي يحتوي على اليورانيوم والثوريوم وأيضا اعادة المعالجة بالاضافة الى تكنولوجية اعادة استخدام المواد الانشطارية من الوقود المحترق. ومثل آخر من هذه المفاعلات المحطة النموذجية الموجودة في الولايات المتحدة والمعروفة باسم (Peach Bottom-1) والتي تعمل منذ عام ١٩٦٧ بطاقة ٤٥ ميجاوات ويستعمل بها البورانيوم بنسبة اثراء كاملة (حوالي ٩٣٪) مع وقود في صورة يورانيوم مع كربيد الثوريوم وموزعة في قالب من الجرافيت.

أما بالنسبة لمفاعلات الماء الثقيل فان الاهتام بدورة وقود الثوريوم موجود أساماً بكندا وفرنسا. ولكن بالرغم من الأبحاث والدراسات التي أجريت لتطوير دورة وقود الثوريوم فلا توجد خطط واضحة لتطبيقها في مفاعلات الماء الثقيل ولا في مفاعلات الماء المادي. وتمتبر دورة الثوريوم _ يورانيوم ٣٣٣ صالحة أيضاً للمفاعلات سريعة التوالد. وقد درست امكانية استخدام دورات وقود مخلوط من الثوريوم واليورانيوم وذلك فيا يتعلق بتطوير هذه المفاعلات في الاتحاد السونييق والولايات المتحدة وبعض الدول الأخرى وذلك للمميزات الفيلة والاتصادية لهذه الدورة ومنها صغر الكتلة الحرجة ومعاملات التوالد المرتفعة بالاضافة الى التنقيص الفعلي في متطلبات وحدات الفصل لعمليات الراء البورانيوم.

٣ ـ ٢ ـ ٦ دورة وقود المفاعلات السريعة المتوالدة:

بالنسبة لدورة الوقود الخاصة بالمفاعلات السريعة المتوالدة والتي تستخدم المعدن السائل كمبرد فان عملية اعادة المماجة والارجاع أو اعادة الاستممال للمواد الانشطارية ليست اختيارية كما هو الحال في مفاعلات الماء العادي أو الثقيل. ولكنها تمثل العناصر الأساسية وجزءاً مكملا لدورة الوقود. ويعتمد تطور وتقدم المفاعلات السريعة المتوالدة على اليورانيوم المثرى بدرجة عالية أو البلوتونيوم المستخلص من الوقود المستنفذ في مفاعلات الماء المادي أو الماء المادي أو الماء المادي أو الماء المادي أو الماء التقيل. وبعد ذلك فان الوقود الملازم للتشغيل يغذى أساساً من البلوتونيوم النتجلف من اليورانيوم النتي أو من بقايا الاثراء يحول الى الحالة المستقرة لدورة الوقود فان البررانيوم المتخلف من اليورانيوم النتي أو من بقايا الاثراء يحول الى ثاني

أكسيد اليورانيوم يو أو ويخلط مع ثاني أكسيد البلوتونيوم وثاني أكسيد اليورانيوم المستخلص لتصنيع وقود من الأكسيد الخلوط. وتعاد معالجة الوقود المستنفذ بعد التشعيع في المفاعل لاستخلاص وفصل البلوتونيوم واليورانيوم من نواتج الانشطار المشعة. ويتم التخلص وفصل البلوتونيوم واليورانيوم من نواتج الانشطار المشعة. ويتم التخلص من النفايات المشعة بعد تحويلها الى صورة مناسبة للتخلص النهائي. والجدير بالذكر ان دورة وقود المفاعلات المريعة المتوالدة يتم تطويرها حالياً في فرنسا بالمشروع الضخم المروف بامم (Phenix المتواعدة أما برنامج تطوير المفاعلات السريعة المتوادة في الولايات المتحدة فقد أبطىء نتيجة للسياسة النورية الأمريكية الجديدة.

٣-٣ الاتجاهات الرئيسية والاختيارات لدورات الوقود للدول النامية:

من خلال المناقشات الجارية حول الموضوعات التصلة بدورات الوقود النووي والدراسات التي أجريت في نطاق البرنامج الدولي لتقيم دورة الوقود (INFCE) يبرز عدد من الجوانب الرئيسية التي لما أهمية خاصة بالنسبة للدول النامية التي المناهزية مثل هذه البرامج. النامية التي تنفيذ برامج تطوير نووية أو المقبلة على تنفيذ برامج نووية، في وتنضمن المشاكل التي تواجه الدول النامية المقبلة على تنفيذ برامج نووية، في سبيل اتخاذ المقرارات المتعلقة بدورة الوقود الموضوعات الرئيسية الآتية:

أ ـ الاختبار بين دورات الوقود لليورانيوم المثري أو لليورانيوم الطبيعي.

ب ـ ضمان استمرار توريد المواد النووية والخدمات المتصلة بدورة الوقود .

جـ تناول العمليات الخلفية لدورة الوقود وتشمل اعادة المعالجة والتصرف
 في الوقود المستنفذ والتخلص من النفايات المشعة.

٣ - ٣ - ١ - الاختبار بين دورات الوقود لليورانيوم الطبيعي والمثرى:
 يعتبر اختيار نوع المفاعل ودورة الوقود أحد القرارات الهامة التي تواجه

الدول النامية وهي بصدد مباشرة وتطوير برامجها للطاقة النووية، خاصة بالنسبة للمحطة النووية الأولى ، وكذلك للمحطات التالية على المدى الطويل لتطوير خططها للطاقة النووية. وحيث انه من المحتم أن يتم اختبار أول مفاعل نووى من بين أحد الأنظمة القائمة المثبتة والكاملة الصلاحية الفنية والاقتصادية فان القرار الخاص بهذا الاختيار يعتبر من أصعب وأهم القرارات التي يلزم اتخاذها منذ البداية فاما أن تكون دورة الوقود لليورانيوم الطبيعي أو تكون دورة بها عملية اثراء لليورانيوم. ويعني ذلك اختيار نوع المفاعل، فاما أن يكون من مفاعلات الماء العادي أو الماء المغلى أو الماء المضغوط التي يستخدم بها يورانيوم مثرى بنسبة صغيرة أو ان يكون من مفاعلات الماء الثقيل التي تستعمل اليورانيوم الطبيعي. وان الميزة الأساسية لنظام اليورانيوم الطبيعي هي انه يوفر امكانية الاكتفاء الذاتي وامكانية عدم الاعتاد على مورد خارجي للوقود . ومن اليسير نسبياً الحصول على اليورانيوم الطبيعي من عدد من الموردين في الأسواق المفتوحة وفي العديد من الدول وبالاضافة الى ذلك فان وجود كميات كبيرة من ترسيبات خام اليورانيوم في دولة ما يسمح لها بموارد دامَّة لاحتياجاتها من اليورانيوم في نطاق برناجها النووي القومي بدون الاعتاد على مورد أجنب أو على السوق المتقلبة للامدادات والأسعار والعوامل السياسية والتي تخضع للسياسات النووية للدول الموردة. وبالطبع فان تطوير الخامات المحلية من اليورانيوم الطبيعي ليكون وقوداً نووياً يتطلب الحصول على سر المهنة وامكانيات فنية وتكنولوجية لكيفية استخراج وطحن الخام ولتحويله كيميائياً الى ثاني أكسيد اليورانيوم ولتصنيع وحدات الوقود منه لتشغيل المفاعلات. ويكن الحصول على هذه الامكانيات الى حد ما من مختلف الموردين وعلى المستوى التجاري وذلك بعكس المعلومات عن العناصر الأخرى لدورة الوقود كمثل الاثراء واعادة المالجة والتي تشتمل على تكنولوجيات معقدة وما زالت تعتبر على درجة كبيرة من السرية والحساسية ومحظور تداولها. ومن ناحية أخرى فان الاعتبارات الاقتصادية تشير الى أن نظام المفاعلات التي تستخدم اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة تعتبر اقتصادية أكثر من المفاعلات التي تستخدم اليورانيوم الطبيعي سواء في رأس المال المستشر أو تكاليف توليد الكهرباء. الا أن هذه الميزة الاقتصادية ترتبط مع ضرورة الحاجة الى عملية اثراء اليورانيوم اللازم كوقود للمفاعل وتتوفر عمليات الاثراء لليورانيوم من عدد قليل من الموردين وبالتالي فانها يمكن أن تخضع لطروف مختلفة بالاضافة الى الصحوبات التي يمكن مواجهتها بسبب عدم توفر السعة الانتاجية الكافية لمنشآت الاثراء لتلبية الاحتياجات المختلفة لحدمات الاثراء.

وفي الواقع فان الحصول على خدمات الاثراء يتطلب التعاقد عليها قبل وقت استخدامها بفترة زمنية طويلة تصل الى ثمان أو عشر سنوات ، كما ان الطهانات للامدادات الطويلة المدى تتطلب الارتباط مع مورد واحد دون أية ضهانات للأسعار في المستقبل . وهناك عوامل أخرى يلزم أخذها في الاعتبار عند الاختيار لنوع المفاعل وتتضمن احتالات المساهمة المحلية ، وشروط التمويل المتاحة ، والضهانات والتمهدات للتوريد على المدى الطويل من الوقود والتدريب والاعداد للقوى البشرية في الدولة المستوردة .

ويجب ادراك الحقيقة بأن تطوير برنامج للقوى النووية يعتمد على اقامة سلسلة من المفاعلات من نفس النوع يوفر احتالات أكبر لزيادة المساهمة المحلية ، ويوفر أسلوباً أكثر استقراراً للتطوير المحلي للتكولوجيا ، وتكوين المهندسين المؤهلين والمهارات البشرية . ولهذا السبب فان الموازنة الدقيقة بين الموامل المختلفة تعتبر هامة وضرورية جداً قبل اتخاذ القرار باختيار نوع المفاعل للمحطة النووية الأولى . ومن الصعب التعميم هنا او استخلاص توصيات محددة بالنسبة لهذا الاختيار الصعب والهام بين اليورانيوم المترى واليورانيوم المترى .

وفي نهاية الأمر، فإن القرار هو قرار يعتمد على سياسة نووية معينة ويعتمد على ظروف مختلفة تتملق بالحالة الخاصة لكل دولة. ويمكن أن يستند القرار في بعض الحالات الى اعتبارات اقتصادية بحتة على أساس المقارنة والمنافسة الاقتصادية بين استخدام اليورانيوم المثرى أو الطبيعي. كما يمكن أن يتأثر القرار أيضاً بالترتببات الخاصة بالتمويل، أو بشروط ذات افضلية بيانسبة لتوريد الوقود وخدمات دورة الوقود، أو بتوفير موارد محلية لليورانيوم، وقد اختارت بعض الدول النامية مثل الهند والارجنتين نظام اليورانيوم الطبيعي لبرامجها النووية. بينما اختارت دول نامية أخرى مثل يوغوسلافيا، وكوريا، والفيليبين، ومصر نوع المفاعلات باليورانيوم المثرى. ومن ناحية أخرى بينما تم اقامة المحطة النووية الأولى من نظام اليورانيوم المثرى، الطبيعي في الباكستان، فانها تدرس الآن استخدام نظام اليورانيوم المثرى،

٣ ـ ٣ ـ ٢ ضانات الحصول على احتياجات دورة الوقود:

تم فحص ودراسة مختلف الوسائل للحصول على ضانات الامدادات للوقود النووي وخدمات دورة الوقود للمفاعلات بالدول النامية بواسطة مجموعة العمل الثالثة للبرنامج الدولي لتقييم دورة الوقود (INFCE). وتضمنت الاقتراحات المختلفة ايجاد الترتيبات لتأمين تدعيم الامدادات على مستوى وطني أو اقليمي أو على النطاق العالمي. ومن الترتيبات التنظيمية أو التأسيسية التي تمتبر مناسبة لذلك هي اقامة بنك دولي للوقود النووي، وتوفير منشآت لدورة الوقود عن طريق اقامة مراكز اقليمية أو مراكز تشترك فيها دول متمددة. وعن طريق مثل هذه الترتيبات ، اذا تم الاتفاق على اقامتها فانه يمكن أن يتوفر الوقود وخدمات دورة الوقود على أسس من عدم التفرقة وضهانات لتأكيد

٣ ـ ٣ ـ ٣ الطرف الخلفي لدورة الوقود:

من النواحي الرئيسية التي تثير القلق بصفة خاصة لدى الدول النامية هي عمليات المداولة للطرف الخلفي لدورة الوقود. وتتضمن الاختيارات المتاحة لمداولة الوقود المستنفذ سواء كان من اليورانيوم الطبيعي أو اليورانيوم المثرى ما يلى: -

- أـ التوسع في تخزين الوقود المستنفذ إما في موقع المفاعل، أو في مواقع
 أخرى مناسبة يتم اختيارها بميداً عن موقع المفاعل، هذا مع عدم
 اجراء اعادة المعالجة للوقود المستنفذ أو المحترق.
- ب _ اقامة مركز وطني لدورة الوقود لاجراء عمليات اعادة المعالجة ،
 وتصنيع الوقود ، واعادة استخدام اليورانيوم والبلوتونيوم المستخلصين
 من الوقود المحترق ,
- ج اقامة مركز اقليمي أو متعدد الدول لدورة الوقود يحدم عدة دول
 لاجراء عمليات اعادة المعالجة والتصنيح للوقود، واعادة استخدام
 اليورانيوم والبلوتونيوم المستخلصين من الوقود المحترق، بارجاعهما
 للدورة.
- د ـ الاستمانة بخدمات خارجية لعمليات تصنيع الوقود واعادة المعالجة ، مع
 احتال عمل ترتيبات لتخزين البلوتونيوم المستخلص واعادة استخدامه بعد ذلك بارجاعه للدورة ، أو باستخدامه في المفاعلات السريعة المتوالدة .

وبالنسبة للمراحل الأولى لتطوير البرنامج النووي في دولة نامية، فان الاختيار الأخير وهو بالاستمانة بخدمات خارجية لعملية اعادة المعالجة يمثل الاتجاه العملي المتاح في الوقت الحاضر. ومثل هذه الحدمات لاعادة المعالجة متاحة الان من فرنسا والمملكة المتحدة. وان استخدام البلوتونيوم واليورانيوم

الذي يتم فصلهما يتوقف على الاتفاق الذي يتم بين المورد والمستخدم ومقدم الخدمة لاعادةالمالجة.

وهناك احتالات متعددة لاستخدام كل من اليورانيوم أو البلوتونيوم الستخلص. فيمكن تخزينه في أحد الخمازن الدولية للبلوتونيوم عندما يتم القامتها وذلك لتوفير الاحتياجات في المستقبل للجهة المسهلكة وذلك لاعادة استمالها في دورة المفاعلات الحرارية أو في المفاعلات السريعة المتوالدة. أو يمكن أن يتم عرضه على جهات مستهلكة أخرى بمقابل اما بالتمويض المالي أو في صورة وقود جديد، أو يمكن أن يتم اعادة النواتج التي يتم فصلها في صورة وحدات كاملة التصنيع لاستعمالها كوقود جديد.

وان الاختيار الخاص باقامة مركز لدورة الوقود لدول متمددة يوفر امكانيات لاقامة منشآت كبيرة وبالتالي تحقيق الاقتصاديات الأفضل للأحجام الكبيرة، كما انه يتبح ايجاد ترتيبات تسمح للمشتركين تأمين الامدادات عن طريق مشاركتها في ملكية مثل هذه المراكز.

أما الاختيار الأول فينطوي على مشاكل معقدة للتخزين الموسع أو التخلص النهائي للوقود الستنفذ ويتوقف الاختيار الثاني لدرجة كبيرة على حجم البرنامج النوري، وعلى اعتبارات اقتصادية، وعلى توفير الامكانيات المحلية والقوى البشرية التي ستكون لازمة لاقامة مركز وطنى لدورة الوقود. الباب الرابع اقتصاديات القوى النووية

٤ ـ ١ مقدمة:

بعد الارتفاع الكبير في أسعار البترول التي وصلت الى ١٩دولاراً للبرميل الواحد (وقت كتابة هذا التقرير)، بما يمثل ستة أضعاف ما كان عليه سعر البرميل عام ١٩٧٣، أصبحت المحطات النووية بديلا منافضاً من الناحية الاقتصادية للمحطات التي تستخدم البترول وغيره من أنواع الوقود التقليدي، ولا بد أن ننوه هنا الى أن اقتصاديلة، وتقييم مشروعات محددة، في حالات ممينة وتحت ظروف تم تحديدها بدقة. وهذا التنويه على قدر كبير من الأهمية نظراً ألى التغيرات المستمرة والمتلاحقة في الظروف الاقتصادية وما يلاحظ حالياً من الزيادة المستمرة في الاستثارات اللازمة لاقامة المحطات النووية ولندورة الوقود الخاصة بها. ومن الضروري الاشارة هنا الى أن البيانات والتحاليل الشاملة المتاحة والمنشورة عن اقتصاديات عطات القوى النووية، تعتبر سارية فقط على الحالات المحددة التي طبقت عليها، وفي خلال الفترة الزمنية التي أجريت فيها. وعلى ذلك فان هذه البيانات والتحاليل تقتصر فائدتها على الاستمانة بها للاسترشاد فقط وليست لاتخاذ أية قرارات أو أحكام فائدة.

٤ ـ ٢ قيود التقييم الاقتصادي:

ان النظرة الفاحصة لنتائج التقييات الاقتصادية العديدة والشاملة التي تم اجراؤها، والمتاحة في المنشورات العالمية ونشرات الوكالة الدولية للطاقة النرية، تبين بوضوح أن اقتصاديات القوى النووية هي من العلوم البعيدة عن الدقة فهناك العديد من العناصر التي لا يمكن التحقق منها وتشمل تقدير رأس المال المستخدمة في الحسابات والتحاليل الاقتصادية.

وقد تؤدي الفروق في نوع وحجم المحطات، ومقدار سريان تقديرات التكاليف المستخدمة ، والتحديد الدقيق لنطاق المهام التي تشملها هذه التقديرات الى اعطاء أحكام مضللة يكون غالباً من الصعب تحديدها أو التأكد منها . وطالما تكون التقديرات التي تقدمها الشركات الصانعة للمحطات النووية لتكاليف المحطات النووية أقل بكثير من التكاليف الفعلية. وقد لا تتضمن هذه التقديرات النطاق الكامل للتوريدات من المعدات والمواد، أو كل عناصر تكاليف التشييد والعمالة. هذا بالإضافة الى أن مقارنة أسعار توليد الكهرباء من المحطات النووية مع غيرها من المحطات التي تستخدم البترول أو غير ذلك من البدائل، لا بد وأن تدرس تحت ظروف تشغيل الشبكة الكهربائية الم، سترتبط معها هذه المحطات ، وليس بالنسبة لمحطة واحدة معزولة فقط . لكل هذه الأسباب فقد كان هناك داعًا، كما سوف يستمر، طيف واسع من الأحكام المتباينة بالنسبة للمنافسة الاقتصادية لمحطات القوى النووية. وتختلف أراء الخبراء اختلافاً كبيراً، وتتراوح بين رأيين متناقضين تماماً، فهناك رأى يتطرف في التأكيد بأن المحطات النووية قد ثبتت قدرتها على المنافسة الاقتصادية، ويجب اعتبارها بديلا قابلا للتطبيق ليحل محل المصادر الأخرى لانتاج الطاقة في المتقبل.

أما الرأي الآخر، فيوضح أن الاستثارات الأساسية اللازمة لبناء

المحطات النووية ما زالت مرتفعة جداً اذا ما قورنت بالمحطات التقليدية ، وانها ترتفع مجدة وبمعدلات أكبر. كما ترتفع أيضاً تكاليف الوقود النووي ودورة الوقود وخدماتها ، وتخضع أسعارها لقرارات من جانب واحد بما لا يمكن معه التحكم فيها أو تغييرها. وفي أغلب الحالات لا تُعطى ضهانات أو تعهدات بتوريد الوقود أو تقديم خدمات دورته على المدى الطويل.

ولعل الحقيقة تكمن في مكان ما بين هنين الرأيين المتطرفين. ويجدر بنا التأكيد هنا بأن التكاليف الحقيقية أو التقييات الاقتصادية لأي مشروع لا يكن التثبت منها الا على أساس عطاءات محددة وشاملة ، تحتوي على البيانات التفصيلة لجميع عناصر التكاليف وعلى تحديدها بدقة.

٤ ـ ٣ عناصر تكلفة توليد القوى النووية:

يتم عادة التقييم الاقتصادي لمحطات القوى النووية على أساس المقارنة بين تكلفة انتاج وحدة الطاقة الكهربائية ، كيلوات _ ساعة ، من المحطة النووية ومن احدى البدائل من المحطات الحرارية ، « بترول أو فحم » بنفس المجم وتحت نفس الظروف السائدة ، ونفس المتغيرات الاقتصادية والفروض المستخدمة في الحسابات .

وعناصر التكلفة المستخدمة في هذه الحسابات لسعر الطاقة المولدة تتضمن البنود الثلاث الآتية: .

أ _ رأس المال المستثمر .

ب ـ تكاليف دورة الوقود.

ج ـ تكاليف التشغيل والصيانة.

وهذه العناصر الرئيسية للتكلفة تتوقف على عدة عوامل تتضمن نوع وحجم المحطة، والتغيرات الناجمة عن تصاعد الأسعار والتضخم في دولة الشركة الصانعة، والتعديلات لتناسب الظروف المحلية في الدولة التي يزمع إقامة المحطة النووية فيها.

٤ ـ ٣ ـ ١ رأس المال المستثمر::

لقد تم تلخيص تقديرات رأس المال المستثمر، من الخبرة المكتسبة في الدول المتقدمة صناعياً والدول النامية، في بحث أجراه « قويت » في النشرة الدورية للوكالة الدولية للطاقة النرية، المدد الأول من المجلد العشرين والصادر في فبراير ١٩٧٨.

وهناك تصاريف عتلفة لتكاليف الانشاء تقوم المنظمات الختلفة باستخدامها ولأنواع مختلفة من الدراسات. وحقى تسهل المقارنة بين الخبرة في التكاليف والتقديرات فان البيانات المقدمة قد بنيت على التعريف الذي تبنته الوكالة الدولية للطاقة الذرية لرأس المال المستثمر في دراستها الاقتصادية وهو «مجموع التكاليف المباشرة وغير المباشرة لوحدة القوى بأكملها ، بما في ذلك تكاليف المالك والمصروفات الطارقة وتكاليف الفوائد أثناء فترة الانشاء ».

ويم استبعاد تكلفة شحنة الوقود الأولى ، وتكلفة الماء الثقيل (ان وجد) والضرائب والجمارك وتصاعد الأسعار . وتلخص الجداول أرقام ١٧ و ١٨ بمض قم التكاليف الأساسية لرأس المال وتقديراتها الحالية . وبفحص البيانات في هنين الجدولين يتضح ان هذه التكاليف لوحدة القوى الكهربائية المكونة من مفاعلات الماء الخفيف قد تضاعفت حوالي ست مرات خلال فترة زمنية قدرها ثمان سنوات . هذا بالاضافة الى ما نلاحظه من الاختلاف الكبير والتبلين على مدى واسم في ارقام تكلفة انشاء هذه الوحدة .

ولعل الأسباب الأساسية لهذا الارتفاع الكبير في التكلفة تكمن في العوامل
 الرئيسية الآتية ، مرتبة حسب أهميتها : ..

جدول (۱۷) استثارات رأس المال لمعطات القوى النووية

(دولار للكيلوات كهربالي)				
تكلفة الوحدة المركبة	1:1	٠٥٠	1:	V1.1
(مليون دولار أمريكي)				
التكلفة الكلية	7	>-	341	011
الفوائد	3	منعولة	۳.	144
الطوارىء وغيرها		شمولة	مشمولة	مشمولة
تكاليف المالك	4	1.	3.1	30
الجسوع	1.	٧.	۸.	440
التكاليف غير الباشرة	1		44	30
التكاليف المباشرة	1	1	٨٥	141
	التحدة	المانيا الفربية		الولايات المتحدة
ظروف دولة الترخيص	الولايات	الأرجنتين/	الهند	البرازيل/
تاريخ المرجع	14.14	1974	1477	1970
(ميجاوات كهربائي)				
القدرة الكهربائية الصافية	.31	44.	٧.٧	444
	(اويستركريك)	(أتوشا)	(راجستان)	(انجرا)
	الغلي	المضفوط	المضفوط	المضغوط
نوع المحطة وموقعها	الماء المادي	الماء الثقيل	الار الثقيل	الماري المادي

جدول (١٨) تقدير رأس المال المنصرف لبعض المحطات النووية الحديثة

دوه ر رسی میتونی)								Ĺ
ما ١١١١ ١١١٠ الما الما الما الما الما الما الما الم		;	-		-			;
تكالف الصدة الكت	1111		٧٩.	٧٧.	44.	2.7.5	446	, T
(مليون دولار)	100	۸۱۰	4	910	1-70	110.	097	1.11
التكاليف للكلية								
الفوائد	١٧٠	197	44.	444	Y0.	Y0.	120	Y 2.0
الطوارىء وغيرها	40	÷	0.3	0.3	٥	مشمولة	*.	0.
تكاليف المالك	٥٠	-4	10	70	٧.	>.	0.	۲.
الجموع	11.	210	079	٥٨٣	700	۸٧.	444	757
التكاليف غير المباشرة	110	144	124	101		,	110	100
التكاليف المباشرة	770	۸۷۳	113	4.43	1		404	1.13
	المتحدة	المتحدة	المتعدة	التحدة	التحدة	الغربية		التحدة
ظروف دولة الترخيص	الولايات	الولايات	الولايات	الولايات	الولايات	الانيا	المنز	الولايات
تاريخ المرجع	LABI	LAbi	1977	1441	LABI	1944	1447	LABI
(ميجاوات كهربائي)								
القدرة الكهربائيةالصافية	٠٠١	٠٠٠	1149	119.		175.	٨٦٢	11
							المضفوط	المضغوط
	الضغوط	الضفوط	المضفوط	نيا	الضفوط	المضفوط	القيا	ائقيل
أنوع المطة	ill,	'n.	'n,	,11	,E	·III	ill,	ın,

- التطلبات التنظيمية: ان الاعتبارات المتصلة بأمان المفاعلات وآثارها المحتملة على البيئة تنمكس على الطلبات المتزايدة من المواد الرئيسية وزيادة التكاليف غير المباشرة الناتجة عن اطالة الفترات الزمنية للتنفيذ، وعن التعقيدات الزائدة لاستيفاء متطلبات تنظيات الأسان. وعن زيادة اعداد المهندسين المطلوبين للأعمال الانشائية ولمواجهة متطلبات تأكيد الجودة والرقابة عليها. ويصل مدى تحليل الآثار المتجمعة لمتطلبات التنظيم والأمان النووي الى التقرير بانها قد زادت من تكاليف انشاء المحطات النووية الى الضعف تقريباً وذلك منذ السنوات الاولى للقوى النووية التجارية.
- ب. التضخم وفوائد رأس المال خلال الانشاء: ترتفع معدلات التضخم وفوائد رأس المال ارتفاعاً كبيراً منذ السنوات الأولى للقوى النووية.
 وبالنظر الى الفترات الزمنية الطويلة اللازمة لتصميم وتنفيذ المحطات النووية فان هذا العامل يؤثر أيضاً ويساهم في الارتفاع الحاد في التكاليف الأساسية المطلوبة للمحطة.
- و للأثار التجارية: كانت الشركات الصانعة للمفاعلات، في السنوات الأولى للقوى النووية على استعداد لقبول قدر من الخاطرة التجارية للدخول في سوق جديدة ذات احتالات جيدة بما أدى الى بعض الخسائر المالية الكبيرة لبعض الشركات التي قبلت عقوداً منخفضة القيمة. وقد رفعت الشركات من التكاليف الأساسية الحالية لتغطي كافة الخاطر التجارية وذلك بعد الوضع الميز الذي وجدت فيه الشركات نفسها بعد الارتفاع الكبير في أسعار البترول بما أعطى للمحطات النووية وضعاً رائداً من القدرة على المنافسة الاقتصادية.

ويتضح من الملخص المذكور عالية لتقدير التكاليف والخبرة ، ان التكاليف الأساسية قد ارتفعت من ١٨٠ ـ ٢٠٠ دولار للكيلوات المركب عام ١٩٧٠ الى

١٢٠٠ ـ ١٤٠٠ دولار بالنسبة للمشروعات الجارية.

وتبين البيانات أن تكاليف اقامة عطات من نوع مفاعلات الماء المغلى
تكاد تتساوى مع تكاليف اقامة عطات من نوع مفاعلات الماء المضغوط،
ويقدر ان تكلفة اقامة عطات من نوع مفاعلات الماء الثقيل تزيد بحوالي ٢٥٥
عنها في حالة عطات الماء المادي، بافتراض نفس الموقع، وتطبيق نفس معاير
الترخيص. ويجدر الأشارة هنا الى أهمية أثر معايير الترخيص على تكاليف
الوحدة المركبة، فعلى سبيل المثال لو طبقت معايير الترخيص الكندية التي
كان معمولا بها عام ١٩٧٦ على محطة نووية بقدرة ١٠٠٠ ميجاوات كهربائي من
نوع مفاعلات الماء الثقيل المضغوط فان تكاليفها سوف تكون أقل بدرجة كبيرة
عن تكاليف محطة بنفس القدرة من نوع مفاعلات الماء المضغوط، وتخضع لمايير
الترخيص الأمريكية السائدة خلال نفس العام.

٤ ـ ٣ ـ ٢ تكاليف دورة الوقود:

من الخصائص المبيزة لحطات القوى النووية أن تكلفة دورة الوقود تسهم بقدر ضئيل في تكاليف التوليد للظاقة الكهربائية وتبلغ حوالي ٢٠ ـ ٣٠٪ للمفاعلات كاملة الامكانيات والصلاحية هذا بالمقارنة الى نسبة مساهمة سعر البترول في المحطات الحرارية والتي تصل الى حوالي ٧٠٪ وتعتبر هذه الميزة السبب الرئيسي الذي تتفوق به محطات القوى النووية في منافستها الاقتصادية مع المحطات الحرارية، وذلك بالرغم من الارتفاع الكبير في رأس المال المنصرف للمحطة النووية والذي يصل في بعض الحالات الى ضعف قيمته للكيلوات المركب في المحطات التقليدية التي تعمل بالبترول.

وخلال السنوات القليلة الماضية ارتفعت تكاليف جميع مراحل دورة الوقود والمنتظر أن يستمر هذا الارتفاع في المستقبل. ولا شك أن هذا يجعل من الصعب جداً التكهن بتكاليف دورة الوقود للمستقبل القريب أو للمستقبل

البعيد على طول عمر التشغيل للمحطة النووية. وبالأضافة الى ذلك فان عقود دورة الوقود التي تتصل بالمواد والخدمات لا تتضمن التزاماً بالأسعار المستقبلة ولا عمدلات زيادة معينة لها.

ويمكن تلخيص التقديرات الحالية لتكاليف دورة الوقود والمأخوذة من السانات النشورة حديثاً ، فيا يلي : .

٤ ـ ٣ ـ ٢ ـ ١ تكاليف اليورانيوم:

على نقيض ما هو الحال في المحطات الحرارية لا يمثل سعر المادة الخام النووية على شكل أكسيد اليورانيوم الطبيعي (يوب أ) أو على شكل العجينة الصفراء سوى جزء صغير من السعر الكلى للوقود النووي ، لا يتعدى ٨ -١٠٪، أما باقى التكاليف فتكمن في المراحل المختلفة للدورة الكاملة للوقود النووي . وحقى عام ١٩٧٣ ، ظل سعر اليورانيوم ، في شكل العجينة الصفراء (يوسأ م) ، مستقراً حول ٧ - ٨ دولارات للرطل الا أن سعر الرطل ارتفع حقى وصل في أوائل عام ١٩٧٨ الى حوالي ٤٣ دولارا. ومع ذلك فان هذا الارتفاع الذي يصل الى حوالى ستة أضعاف لم يكن له سوى أثر بسيط على التكلفة الكلمة للوقود النووي، بدرجة تقل كثيراً عما هو الحال بالنسبة للبترول. ونظراً إلى الارتفاع الحاد في أسعار البترول، فقد اتسم الفرق كذلك نتيجة لتأثير سعر البترول على زيادة تكلفة التوليد اذا ما قورن بتأثير سعر اليورانيوم في هذه التكلفة. ففي أواخر عام ١٩٧٣ كان فرق السعر في التكلفة حوالي ٥ ر٣ مللم للكيلوات - ساعة ثم ارتفع الى ٥ ر١٦ مللم للكيلوات/ساعة في يناير ١٩٧٨ . وعمل الرغم من همذا الارتضاع في فرق تأثير كمل من البسترول واليورانيوم على تكلفة انتاج وحدة الطاقة الكهربائية، والذي تضاعف الى حوالي خس مرات ، نجد ان الارتفاع الكبير في تكاليف العناصر الأخرى لدورة الوقود تكاد تعوض هذا الفرق أو تزيد عليه ، مجيث أن التكلفة الكلية لدورة الوقود زادت الى حوالي £ر£ضعفاً ولم تنقص كما كان متوقعاً اذا ما اعتبرنا الفرق الكبير في سعر الوقود الخام.

٤ ـ ٣ ـ ٢ ـ ٢ تكاليف التحويل والاثراء:

لقد استقرت تقريباً أسعار تحويل أكسيد اليورانيوم (يوم $\frac{1}{h}$) الى سادس فلوريد اليورانيوم (يوفل $\frac{1}{h}$) منذ عام ١٩٦٥ . وقد بلغت تكلفة التحويل حوالي هره $\frac{1}{h}$ 2 دولارات للكيلوجرام من اليورانيوم عام ١٩٧٥ ، بمدل زيادة مستقر مقداره $\frac{1}{h}$ 1 دولاراً للكيلوجرام من اليورانيوم . وقد وصل السعر حالياً الى ما بين $\frac{1}{h}$ 1 ده 2 دولاراً للكيلوجرام يورانيوم .

أما تكاليف الاثراء فقد ارتفعت بانتظام منذ عام ١٩٦٥ فقد كان سعر وحدة شغل الفصل ٢٦ دولاراً في الولايات المتحدة عام ١٩٦٧. ثم وصل الى ٣٦ دولاراً عام ١٩٦٧، واستمر في الارتفاع تدريجياً منذذلك الحين الى أن وصل حالياً الى مابين ٨٠ و١٠٠ دولار لوحدة شغل الفصل . ويقدر أن يصل السعر الى ما بين ٨٥ و١٦٠ دولاراً لوحدة شغل الفصل عام ١٩٨٥. الا انه من الصعب التكهن بما سوف يصل اليه السعر في المستقبل . حيث تتأثر هذه الاسعار تأثراً كبيراً بأسمار اقامة منشآت الاثراء الجديدة ، وأسعار الطاقة الكوبائية اللازمة لتشغيل هذه المنشآت والتي يصعب التنبؤ بها .

٤ - ٣ - ٢ - ٣ تكاليف تصنيع الوقود:

لقد استقر سعر تصنيع عناصر وقود مفاعلات الماء الخفيف فيا بين ١٢٠ الى ١٧٠ دولار للكيلوجرام من اليورانيوم، وذلك خلال السنوات الماضية، بالنسبة لأوامر التوريد العادية من الشركات الصانعة للمفاعلات. ومن المتوقع أن تستقر تكاليف تصنيع وحدات الوقود خلال السنوات القليلة القادمة بل رعاً تنخفض قليلا.

وتزيد أسعار تصنيع عناصر وقود الأكسيد الخلوط لفاعلات الماء الخفيف زيادة ملحوظة عن أسعار تصنيع وقود ثاني أكسيد اليورانيوم (يو أم) وقد تصل الى حوالي ٣٠٠ دولار للكيلوجرام بالنسبة لليورانيوم + البلوتونيوم، وقد تصل أسعار تصنيع وقود المفاعلات السريعة المتوالدة، المبردة بالمعادن السائلة، الى ما بين ٨٠٠ و ١٠٠٠ للكيلوجرام من اليورانيوم + البلوتونيوم.

٤ - ٣ - ٤ تكالف اعادة المالحة:

ليس في الامكان عمل التقديرات بدقة للاحتياجات الحالية والمستقبلة التقدير الدقيق للاحتياجات من اعادة معالجة وقود مفاعلات الماء الخفيف، ما لم يتم الاتفاق على سياسة مقبولة على نطاق واسع بالنسبة لاعادة المعالجة واعادة صلاحية استخدام البلوتونيوم، وبالنظر الى الفترات الزمنية الطويلة المطلوبة لتصمم وانشاء أية محطة جديدة لاعادة المعالجة، والتي تتراوح بين ٥ و٧ سنوات ، والى التعقيدات في تصميم هذه المنشآت ، فان تكاليف اقامة منشآت جديدة لاعادة المعالجة تكون مرتفعة الى حد كبير. ومن الواضح انه اذا ما اتبعت سياسة معينة تجاه اعادة معالجة وقود مفاعلات الماء الخفيف، فان سعة المنشآت الحالية لن تكفي لمواجهة كل الاحتياجات ، الأمر الذي يتطلب زيادة سعة منشآت تخزين الوقود المستنفذ الى أن يتم زيادة سعة منشآت اعادة المعالجة الحالية بالقدر الكافي المطلوب. وتوجد في الوقت الحاضر محطتان فقط تتيحان خدمات اعادة معالجة الوقود ، إحداهما في فرنسا والأخرى في الملكة المتحدة . ونظراً للسعة المحدودة لهاتين المنشأتين، فانه لا توجد تقديرات يمكن الاعتاد عليها لأسعار اعادة المعالجة. وتتراوح التقديرات التي تستخدم في الوقت الحالي في الحسابات الاقتصادية عموماً من ١٥٠ الى ٣٠٠ دولار للكيلوجرام. وبمقارنة هذه الأرقام بمثيلتها في عام ١٩٧٢ والتي كانت ٤٠ الى ٥٠ للكيلوجرام، يتضح لنا ان هذه الأسعار قد تضاعفت الى ما بين ثلاثة وستة أضعاف.

٤ ـ ٣ ـ ٢ ـ ٥ تكاليف تخزين الوقود المستنفذ:

تعتبر هذه المرحلة من مراحل دورة الوقود ذات أهمية خاصة بالنظر الى الاحتياجات المتزايدة لتخزين الوقود، والناجمة عن التأخير في أعمال اعادة المعالجة، عن السعة المحدودة لمنشآت اعادة المعالجة، وعن اعتبارات السياسة الدولية. وتقدر تكاليف تصميم واقامة خازن الوقود المستنفذ لمفاعلات الماء الخفيف، في الوقت الحاضر، بحوالي ١٠ دولار للكيلوجرام يورانيوم في السنة، بينما تقدر التكاليف بالنسبة لوقود مفاعلات الماء الثقيل المضغوط من الى ٥ دولارات للكيلوجرام يورانيوم في السنة.

٤ ـ ٣ ـ ٣ تكالف التثغيل والصبانة:

ان العنصر الأخير في تكلفة انتباج الكهرباء من المحطة النووية هو تكاليف التأمين الخاصة.
تكاليف التشغيل والصيانة للمحطة، بما في ذلك تكاليف التأمين الخاصة.
وتزيد تكاليف تشغيل وصيانة المحطات النوويةبعض الشيء عن نظيرتها بالنسبة
للمحطات الحرارية وخاصة بسبب ارتفاع التأمين اللازم لتغطية اضرار الطرف
الثالث. ومع ذلك فان هذه الفروق في تكاليف التشفيل والصيانة والتأمين لا
تعتبر ذات أهمية كبيرة عند المقارنة بين تكاليف انتاج الوحدة الكهربائية من
المحطات النووية والمحطات الحرارية.

وتوجد تقديرات تكاليف التشفيل والصيانة بالنسبة للأحجام الختلفة من عطات القوى في البيانات المنشورة بالنسبة للمحظات النووية والمحطات المرارية. وفي حالة المحطات النووية يجب أن يؤخذ في الاعتبار التأمين الخاص الاضافي لهذه المحطات، والذي يكن افتراضه بحوالي ٢٥٠٥٪ من جملة رأس المال المنصرف للمحطة، بما في ذلك التمويض عن أضرار الممتلكات وتعويض الطرف الثالث. وتقدر هذه التكاليف بالنسبة الى محطة تعديما ١٠٠٠ ميجاوات كهربائي بحوالي ٢٥٨ مليون دولار في السنة للمحطة النووية من نوع

مغاعلات الماء المضغوط وبحوالي ١/٧ مليون دولار في السنة للمحطة الحرارية. ويقدر التصاعد في هذه التكاليف بمعدل حوالي ٤٪ سنوياً. وتؤدي هذه التكاليف الى اضافة حوالي ٢/٢ ملليم للكيلووات ساعة من محطة نووية من نوع نوع مفاعلات الماء الخفيف، وحوالي ٤/١ ملليم للكيلووات ساعة للمحطة التي تعمل بالبترول.

٤ ـ ٤ المقارنة بين محطات القوى النووية ومحطات القوى الحرارية:

تجري المقارنة والتقييم الاقتصادي عادة بين المعطات النووية والمعطات المرارية التي تستخدم البترول أو الفحم على أساس المقارنة بين سعر التوليد للطاقة الكهربائية من كل نوع من أنواع المعطات بافتراض نفس القدرة وتحت نفس ظروف التشغيل في نظام الشبكة الكهربائية وباستخدام نفس المتغيرات والفروض الاقتصادية في الحسابات. وقد كانت مثل هذه المقارنات الاقتصادية عوراً للكثير من الدراسات المتعددة والمتنوعة، وتم فيها تقدير وتقييم قدرة المعطات النووية على المنافسة الاقتصادية وذلك باستخدام البيانات المتاحة عن تقديرات عناصر التكاليف الأساسية الثلاثة السابق الاشارة اليها وهي رأس المال المستثمر وتكاليف دورة الوقود والتشغيل والصيانة.

٤ ـ ٤ ـ ١ المقارنة بين تكاليف رأس المال المستثمر:

ان ما يعنينا لأغراض المتارنة هو الفرق بين تكاليف رأس المال بالنسبة لكل من المحطة النووية والمحطة الحرارية التي تعمل بالبترول ويقدر الفرق حالياً بالنسبة لمحطات مفاعلات الماء الحفيف والمحطات المبترولية بجوالي ٢٠٠ دولار للكيلووات المركب، بالنسبة للمحطات كبيرة الحجم في الدول المتقدمة صناعياً والتي يوجد فيها برامج كبيرة قائمة ومستمرة للقوى النووية.

ويمكن حساب الفرق بين التكاليف الكلية السنوية للاستثار وتكاليف التوليد على أساس قيم مختلفة لمدلات فوائد ثابتة ، والتي يمكن اعتبارها في حدود ١٠ ـ ١٤٪ في السنة أو طبقاً للمعدل المناظر لشروط تمويل المشروع...

وقد قدرت الوكالة الدولية للطاقة الذرية عام ١٩٧٣ ، في الدراسة التي أجرتها لمسح سوق المحطات النووية في ١٤ دولة نامية ، تكاليف رأس المال لاقامة المحطات النووية في هذه الدول بأقل من تكاليفها في الدول المصدرة للقوى النووية . وكان السبب الرئيسي لذلك هو انخفاض معدلات الأجور لعمال البناء، والتي كانت شديدة الانخفاض في البلدان النامية التي أجريت فيها الدراسة . وعلى الرغم من الانخفاض المتوقع في كفاءة العمال المحليين ، الا أن النتيجة العامة اشارت الى انخفاض تكاليف الانشاء ، وبالتالى انخفاض التكاليف الكلية للمحطة في الدول النامية. الا أن الخبرة تشير الى أنه لم يكن، بل وقد لا يكن، تحقيق هذه التكاليف المخفضة، بسبب كثير من العوامل العكسية التي تتضمن متطلبات التدريب الخاص للعمال المهرة وللمهندسين وكذلك الأجور المرتفعة للمشرفين والفنيين الأجانب والنقص في القاعدة الأساسية للصناعة، والتغير في أسعار مواد البناء، والظروف الخاصة للموقع. باضافة تكاليف متطلبات ترخيص المحطة، التي تقام في الدولة النامية، وفقاً للشروط السائدة في الدولة الموردة، نجد ان تكاليف اقامة المحطة قد تصل الى نفس تكاليف اقامة محطة بنفس القدرة في الدولة الموردة ان أم تزد عليها.

وتتأثر مقارنة تكاليف رأس المال بعاملين هامين هما:

أ - حجم المحطة:

ان مقارنة تكاليف رأس المال تتأثر بدرجة كبيرة لحساسية تأثر تكاليف رأس المال المستثمر للمحطات النووية مع حجم قدرتها الكهربائية. فالاقتصاد الناتج عن كبر حجم المحطة النووية يفوق كثيراً مثيله في المحطات التقليدية. فبينما تزيد تكاليف محطة من نوع مفاعلات الماء المضغوط قدرتها ١٢٠٠ ميجاوات كهربائي ، على سبيل المثال ، بقدار ٣٠٠ تقريباً عن تكاليف محطة قدرتها - ٢٠٠ ميجاوات كهربائي من نفس النوع ، نجد أن نسبة الزيادة المثوية في حالة المحطات التقليدية لنفس مدى القدرة ، تتجاوز ٥٠٠ ، وبذلك فان الوضع الاتتصادي التنافسي للمحطات النووية بالنسبة لمحطات الوقود التقليدي ، يتحس بدرجة ملموسة مع حجم المحطة . وهذا يمثل حافزاً اقتصادياً كبيراً لاختيار أكبر حجم ممكن للمحطة النووية بالقدر الذي يمكن استيعابه في الشبكة الكوبائية المتاحة .

ب ـ شروط التمويل:

تعتمد التكاليف السنوية لرأس المال الستثمر اعتاداً قوياً على معدل الفائدة وشروط التنافسي للمعطات النوقية وشروط التنافسي للمعطات النووية وذلك نظراً لارتفاع تكاليف الاستثار لهذه المعطات عنه في المعطات البترولية. وعلى ذلك تصبح معدلات الفائدة المنخفضة أكثر ملائمة للظروف الاقتصادية للمحطات النووية عن مثيلاتها من المحطات التقليدية.

وسوف تتم مناقشة تأثير حجم المحطة، وشروط التمويل على الوضع التنافسي للمحطات النووية في البند (2 ـ 2 ـ 0) في آخر هذا الباب والذي يعالم تحليل الحساسية الاقتصادية للمتغيرات الحتلفة.

٤ ـ ٤ ـ ٢ مقارنة تكاليف دورة الوقود:

لقد تغيرت تكاليف العناصر الختلفة لدورة الوقود النووية تغيراً ملموساً منذ عام ١٩٧٣ . ويبين الجدول رقم (١٩) مقارنة بين التكاليف عام ١٩٧٣ ، والتكاليف المجدول و ويتضح من البيانات المدرجة في هذا الجدول ان هناك تغيرات رئيسية في كل عنصر من عناصر دورة الوقود ، ويتضمن هذا الجدول كذلك تقديرات لأرصدة اليورانيوم والبلوتونيوم . بالرغم من أن هذه التعديرات لا يمكن التيقن منها في ضوء الوضع الحالي لاعادة المعالجة ، الا أن

قيم هذه الأرصدة سوف تعتمد على أسعار الوقود الطبيعي وعلى أسعار وحدة شغل الفصل اللازم للاثراء.

وتشتمل العديد من الحسابات المنشورة في البحوث والتقارير العالمية وتقارير العالمية دورة وتقارير الوكالة الدولية للطاقة الذرية على تقديرات مختلفة لتكاليف دورة الوقود. وبفعص العدد الهائل من البيانات والتحاليل الاقتصادية المتاحة، يتضح لنا التضارب الكبير واللاتحقيقية في التقديرات التي تقدمها الدراسات المختلفة. وإن السبب الرئيسي لذلك هو مدى انطباق وصلاحية عناصر تكاليف دورة الوقود وغيرها من المتغيرات الاقتصادية المستخدمة في الحسابات التغيرات المستخدمة في التحليل الاقتصادي للقوى النووية كانت وما زالت في المغيرات المستخدمة في التحليل الاقتصادي للقوى النووية كانت وما زالت في تغيير مستمر، ويتضح ذلك على سبيل المثال، من الأرقام الواردة في الجدول مترة مردورة الوقود خلال فترة خس سنوات.

ومن هنا يلزم أن ننوه بضرورة التحفظ الشديد بالنسبة للبيانات الواردة في هذا الباب، وكذلك أية بيانات اخرى منشورة، حيث انها تسري فقط خلال الفترة الزمنية التي أجريت فيها الدراسة وتحت الظروف والفروض المخاصة التي استخدمت في الحسابات. الا أن هذه البيانات كبيرة الفائدة لتوضيح الاتجاهات العامة، ولتحديد المؤشرات التي تسهم في الحصول على القيم المينة الدقيقة اللازمة لشروع محدد تحت الدراسة.

وبيين الجدول رقم (٢٠) مقارنة بين أحدث التقديرات المتاحة لتكاليف دورة الوقود، والتي تم حسابها على أساس عناصر دورة الوقود الواردة في الجدول رقم (١٩)، مع حسابات القيم المناظرة لتكاليف عام ١٩٧٣.

ويجدر الاشارة هنا الى أن التكلفة الكلية لدورة الوقود قد ارتفعت من

الرغم من ارتفاع قيم رصيد اليورانيوم ٢٣٥ - والبلوتونيوم الانشطاري من الرغام من ارتفاع قيم رصيد اليورانيوم ٢٣٥ - والبلوتونيوم الانشطاري من أعمدة الوقود المستنفذ وبالنسبة لأسعار عام ١٩٧٣ ، يلاحظ أن الجزء الأكبر من سعر دورة الوقود يعزى الى العمليات الصناعية مثل التحويل والاثراء والتصنيع ، واعادة المعالجة والتي تصل في مجموعها الى أكثر من ٨٠٠ من التكاليف الكلية . وقد اختلف الوضع في عام ١٩٧٨ ، اذ نجد أن الجزء الأكبر في تكلفة دورة الوقود يرجع الى عنصرين فقط ، هما سعر اليورانيوم وسعر الاثراء وهما يثلان حوالي ٨٢٠٪ من التكاليف الكلية .

وقد تم في أحد تقارير الوكالة الدولية للطاقة الذرية حساب تقدير تكاليف دورة الوقود كدالة لحجم المحطة. ويبين الجدول رقم (٢١) مشالا لهذه التقديرات مأخوذاً عن البيانات الواردة في التقرير المشار اليه.

وتبين النتائج الواردة في هذا الجدول، ان تكاليف دورة الوقود لا تتأثر كثيراً بحجم المحطة. ويمكن تنسير هذه الظاهرة على أساس افتراض أن التغيير الوحيد في عناصر التكاليف، يرجع الى انه كلما ازداد حجم المفاعل كلما قلّتُ نسبة الاثراء اللازمة بدرجة ضئيلة.

وبينما تشير البيانات الواردة عالية الى تكاليف دورة الوقود في مفاعلات الماء المضغوط ، الا أن البيانات المنشورة عن تكاليف هذه الدورة للمفاعلات الأخرى وهي الماء المضغوط ، الماء المغلي ، الماء الثقيل المضغوط ، المفاعلات مرتفعة الحرارة المبردة بالفاز تبين الها جيماً تتراوح من ١٦٥ الى ١٨٥ مللم للكيلووات ساعة . أما بالنسبة لمعظم المفاعلات السريمة المتوالدة فان التكاليف المقدرة تتراوح بين ١٢٥ الى ٤ ملليم للكيلووات ساعة .

وتبدو تقديرات تكاليف دورة الوقود للمفاعلات من نوع الكاندو ، والتي تستخدم الماء الثقيل قريبة أو ترتفع قليلا عن التكاليف في حالة مفاعلات الماء المضوط،

جدول (١٩) اتجاهات عناصر التكلفة لدورة الوقود النووي

.,		تكلفة عنصر دورة الوقود	
البند	الوحدة	1475	1444
اليورانيوم الطبيعي			
	دولار للرطل	٧	٤٠
التحويل الى اليورانيوم	دولار/ كيلوغرام	۳ر۲	٤
هكسا فلوريد			
الاثراء	دولار /وحدة شفلالفصل	٣٢	1
التصنيع	دولار/ کیلو جرام	٨٠	۱۷۰
اعادة المعالجة والنقل	دولار/كيلوجرام	٤٠	٣
1	دولار/ كيلوجرام	To -	۱۵۰
رصيد البلوتونيوم	دولار/ جرام	١٠ -	۲۰ _

جدول (٠٠) تكاليف دورة الوقود النووي (ملليم/ كيلووات ساعة)

(اهیأه) ۱۳۳۵ر ۱۸۵۸ . ۱۳۳۶ ۱۳۰۰ ۱۳۰۰ ۱۳۰۰ ۱۳۰۰ ۱۳۰۰ ۱۳۰۰ ۱۳۰۰	1 2 4 4 - C	- 1710.	۰۶۷۲ - ۲۵۲۰ - ۲۵۲۰ - ۲۵۲۰	۵٫۲۰	
الطبيعي (يوراً ٨) ٢٥٥ر، ١٥٨ر، عوقل ٦ ع٠ر، ع٠ر، ع٠ر، ع٠ر، ع٠ر، ع٠ر، ع٠ر، ع٠ر،	- ۲۹۰ر۰ ۲۳۶ر۰ ۸۵۰ر۰	- 4440	۲۰۷۰ - ۲۰۷۰ - ۲۰۵۳ -	مار.	
(هيأ،) ٢٣٥٠، ١٥٨٠، ٢٠٠٠ ٢٠٠٠ ٣٩٣٦، ١٠٠٠ ١٥٥٠ ٢٠٠٠ ١٥٥٠ - ٢٩٠٠	- 144.6	- 1771 -	۲۰۷۰ - ۲۰۷۴	ە، ر	711 -
الطبيعي (يوراً) ٢٥٥١ر، ١٥٨٠ر، ٢٠٠٠ ع-ر. ٢٠٠٠ ع-ر. ٢٠٠٠ ع-ر. ٢٥٠٠ر،	- ۲۹۹۹	- 171	٠٣٠	_	- ١٥٥ -
الطبيعي (هيأم) ٢٣٥٥، ١٥٨١. ١٠٠٤ ٢٠٠٠ ٢٠٠٠ ٢٦٣١، ١٥٥٠ ٢٢٢، ١٥١٠.	,			- ٤٢٤ -	٠,٨
الطبيسي (غيراً) ٢٥٥١ر. ١٠٠٤ عوثل ٦ ٢٠١٥، ١٥٠٠ عودل ٢			٠٧٠٠	۲۲ر۰	٠ ١٩ ٧
م الطبيعي (يوم أم) ١٥٢٣ م ١٥٥٠ . الى يوفل ٦	٠٥١٥٠	۳۷۷۲۰	۲۸۷	٠,٠	7722
المرام) ۱۵۲۰ م۱۵۰	٠,٠٠	38-0-	زن	٠٠٠	٤١١٠
	۸۵۱۲۰	۱۸۲ر۰	٥٨٤٢	٠ ٩٨٠	۲ ₀ ۸٤
مباشر غير مباشر	 	⁴ K	مياشر	غير مباشر	کلي
1944	1444			1444	

جدول (٢١) تكاليف دورة الوقود واعتادها على حجم المحطة

17	1	.4	٧	حجم المحطة النووية (ميجاوات كهربائي)
7,47	۲۰۰۲	۱۳ر۷	۳٫۳۱	تكاليف دورة الوقود (ملليم/كيلوات ساعة)

جدول (٢٢) اتجاهات سعر البترول المحققة للمنافسة الاقتصادية للمحطات النووية

3444	3481	144+	السنة	البند
۸۲۲۸	Γر۸	۲ر۳	دولار/ برميل	سعر
41	٦.	77	دولار/ طن	البترول
41.	7	***	سنت/ ٦١٠ كيلو كالوري	
٤٠٠	707	١٧٨	ل المحقق للمنافسة (سنت/٦١٠ كيلو ـ كالوري)	

ولاجراء المقارنة بين تكلفة الوقود للمحطات النووية والمحطات الحرارية ثم افتراض قيمة سعر الوقود من البترول المنخفض في نسبة الكبريت على أساس ٢٠٫٨ ملليم للكيلووات ساعة بحساب تكلفة ١٣٫٨ دولار للبرميل (٩١ دولار للطن).

٤ ـ ٤ ـ ٣ مقارنة تكاليف التشغيل والصيانة:

استخدمت في هذه المقارنة التحليلية القم السابق الاشارة اليها وهي ٣٢٣ ملليم للكيلووات ساعة في المحطة النووية ، ١ر٤ ملليم للكيلووات ساعة للمحطة الحرارية الا أن هذا العنصر السعري لا يبدو هاماً بالدرجة التي يمكن بها أن يصبح عاملا حرجاً في الدراسة الاقتصادية.

٤ ـ ٤ ـ ٤ معر البترول وحجم المعطة المحققان لنقطة التعادل الاقتصادي:

من البيانات الواردة فيا سبق، يمكن الحكم على الوضع التنافي للمحطات النووية بالمقارنة بالمحطات البترولية، هذه البيانات التي تتصل بقارنة التكلفة بالنسبة للغناصر الثلاثة الرئيسية للتكلفة الكلية لانتاج الكهرباء، ويمكن التعبير عن نتائج هذه المقارنة اما بدلالة سعر الوقود البترولي المحقق لنقطة التعادل وهو الذي يجعل تكلفة انتاج الوحدة الكهربائية متساوياً في النوعين من الحطات، أو بدلالة حجم المحطة النووية المحقق لنقطة التعادل وهو يحقق نفس المساواة في ضوء أسعار البترول السائدة في المرحلة الزمنية للسراسة، هذا مع تثبيت سعر الفائدة وتثبيت معامل تحميل المحطة في الحالتين.

وتجري الحسابات لهذه المقارنة باستخدام برامج خاصة للحاسب الالكتروني والتي تم اعدادها وتطويرها لهذا الغرض (مثل برنامج FUEL CASH) ويكن الحصول عليها من الوكالة الدولية للطاقة الذرية أو من غيرها من المنظمات المتخصصة. والطريقة المستخدمة لتحديد سعر البترول المحقق لنقطة التعادل الاقتصادي، هي أخذ مجموع الفروق للتكاليف السنوية لرأس المال وتكاليف التشغيل والصيانة بين نوعي المحطتين النووية والحرارية ، ويتم حساب سعر البترول عند نقطة التعادل الاقتصادي على أساس التكاليف المقدرة لدورة الوقود ، تحت نفس ظروف سعر الفائدة ومعامل تحميل المحطة . ويلخص جدول رقم (۲۲) مثالا لنتائج هذه التحاليل ، يستعرض أسعار البترول عند نقطة التعادل الاقتصادي لمحطة بقدرة ٢٠٠ ميجاوات كهربائي ، من نوع مفاعلات المجاهد المضغوط ، على افتراض أن معامل تحميل المحطة هو ٨٠٪ ، كما يعرض الجدول كذلك أسعار الوقود البترولي ممبراً عنه بنفس وحدات الطاقة لمهولة المقارنة .

وقد أعدت النتائج المدونة في هذه الجداول للفترة الزمنية من ١٩٧٠ الى ١٩٧٨ لتوضيح التغييرات في الوضع التنافيي للمحطات النووية خلال هذه الفترة. ونجد أن سعر البترول عند نقطة التمادل الاقتصادي هو ١٢٨ سنت لكل ١٠/٠ كيلو كالوري، وهذا يبين أن محطة نووية بقدرة ١٠٠٠ ميجاوات كهربائي لا تتحقق لها المنافسة الاقتصادية في ضوء أسعار البترول التي كانت سائدة عام ١٩٧٠ وهني ٢٠٣ دولار للبرميل، أي ما يعادل ٢٠٠ سنتاً لكل جنرياً عام ١٩٧٤ عندما ارتفع سعر البترول الى ١٠٠ سنتاً لكل ١٠٠ كيلو كالوري، وهذا يبين أن محطة قدرتها ١٠٠ ميجاوات أصبح في امكانها أن تثنافس بقدر مناسب، عند سعر التمادل الاقتصادية هو ٢٥٦ سنتاً لكل ١٠٠ كيلو كالوري وهو سعر يتبح المنافسة الاقتصادية حتى للمحطات النووية كيلو كالوري وهو سعر يتبح المنافسة الاقتصادية حتى للمحطات النووية الأصف حجماً.

وما زال هذا الوضع الاقتصادي قائماً الى الآن بالرغم من الارتفاع الكبير في رأس المال الأساسي وتكاليف عناصر دورة الوقود، وذلك بالنظر الى الارتفاعات المستمرة في أسعار البترول، والتي وصلت الى ١٩ دولار للبرميل في الوقت الحالي، بما يعادل ١٣٣٠ سنتاً لكل ١٠ كيلو كالوري.

جدول (٣٣) سعر البترول المحقق للمنافسة الاقتصادية كدالة لحجم المحقة ومعامل المحقلة، وسعر الفائدة

7.7	معامل المحطة ٦٠٪	2	7.4	معامل المعطة ٦٥٪	ŧ	سمر الفائدة
217	۲١٠	χ.Α.	214	21.	٨٪	(ميجاوات كهربائي)
444	144	744	٥١٨	٧٢.	PAL	1
٧٧٧	337	310	÷.	1.7	0 7 9	10.
177	004	٠٩3	7.00	0 7 0	173	٠.
۸۲٥	0.0	733	0 44	0 A 3	Y13	۲0.
977	31.3	٤١.	163	177	YAY	
113	610	444	173	797	N3.4	ř
٨٧3	3 4 4	T 2 .	3 - 3	777	444	0
0 • 3	41.4	441	474	727	7.0	
474	779	792	7° £ A	717	٠٨٠	۸٠.

٤ ـ ٤ ـ ٥ تحاليل الحساسية:

ان تكاليف انتاج الطاقة الكهربائية من المحطات النووية تتأثر بحساسية كبيرة بحجم المحطة وشروط تمويلها (سعر الفائدة)، ومعامل تحميل المحطة على الشبكة الكهربائية. ويبين جدول رقم ٢٣ مثالا موضعاً لدراسات الحساسية التي أجرتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية في تقريرها الذي نشر عام ١٩٧٤ عن دراسة السوق للمحطات النووية في الدول النامية ، كما يبين الجدول سعر البترول عند نقطة التعادل الاقتصادي بدلالة حجم المحطة، ومعامل تحميلها وسعر الفائدة. ويتضح من هذه البيانات ان محطة نووية بقدرة ١٥٠ ميجاوات كهربائي لا تكون اقتصادية ، وان كان ذلك بقدر ضئيل جداً ، على أساس أن سعر البترول في عام ١٩٧٤ هو ٦٠٠ سنت لكل ١٠ كيلو كالوري وبافتراض ٦٥٪ معامل للمحطة ، ١٠٪ سعر للفائدة . أما بافتراض ٦٠٪ معامل للمحطة ، ١٢٪ سعر الفائدة ، فإن المحطة النووية بحجم ٢٠٠ ميجاوات لا تكون منافسة اقتصادياً. ويتضح من هذه الأمثلة ارتفاع حساسية النتائج للمتغيرات الاقتصادية. اذ يؤدي تغير سعر الفائدة بمقدار ٢٪ الى زيادة سعر البترول عند نقطة التمادل الاقتصادى بمقدار ١٠٠ سنت لكل كيلو كالوري، وتغير الحجم اللذي يعطى التعادل الاقتصادي بجوالي ١٠٠ الى ٣٠٠ ميجاوات کهر بائی .

وخلاصة ما سبق أن سعر البترول عند نقطة التمادل الاقتصادي في الوقت الجالي يتبح للمحطات النووية ميزة اقتصادية مؤكدة على المحطات البترولية. وليس من المحتمل أن ينخفض سعر البترول في المستقبل القريب. ومن هنا فان هذا الوضع التنافي للمحطات النووية سوف يستمر، ولو أن قيمته الدقيقة لا يمكن تحديدها الا بعد التحاليل المستفيضة للخصائص النوعية لكل حالة على حدة.

الباب الخامس ادخال القوى النووية في الدول النامية

٥ - ١ مقدمة:

تمت في الباب الأول من هذا التقرير معالجة الاحتياجات للقوى النوبية ، ووضعها الحالي واحتالاتها المستقبلة ، سواء بالنسبة للدول الصناعية المتقدمة أو الدول النامية . وسوف نناقش في هذا الفصل المراحل المختلفة والخطوات اللازمة لصياغة برنامج للقوى النووية في الدول النامية ، والبدء به ، وتنفيذه . وقد تأخرت أغلبية الدول النامية في ادخال القوى النووية لانتاج الكهرباء ، اذ تبلغ القدرة الكهربائية النووية المركبة في الدول النامية في أو والي يبلغ تعداد شكانها أفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية والشرق الأقصى والتي يبلغ تعداد شكانها خوالي ٢٠٠٠ ميجاوات كهربائي ، بما يمثل ٢٪ لفقط من كل القدرة النووية المركبة في المالم . وقد كانت الهند، هي الدولة النامية الوحيدة حتى عام ١٩٧٠ ، التي أقامت محطة نووية لانتاج الكهرباء ، وفي نهاية عام ١٩٧٨ ، وبعد مرور حوالي ٢٥ عاماً على تطوير الطاقة النووية واستخدامها في توليد الكهرباء ، بلغ عدد الدول النامية التي تمثلك محطات نووية شغالة خس دول فقط .

الا أن اهتام الدول النامية بادخال القوى النووية قد تزايد بسرعة خلال الأعوام الأخيرة. والدليل على تزايد هذا الاهتام، هو أنه توجد في الوقت الحاضر احدى عشر دولة نامية تقام بها محطات نووية تحت الانشاء ، هذا بالإضافة الى الدول الخمسة السابق الاشارة اليها والتي تمتلك مفاعلات نووية شفالية الآن. وتبليغ قيدرة المحطيات التي يجري انشاؤها حوالي ١٥٠٠٠ مبجاوات كهربائي، ومن الخطط أن يبدأ تشغيلها في أوائل الثانينات. وتوجد ثمان أو تسع دول نامية أخرى تخطط لإدخال القوى النووية ، بما سوف يصل بالجموع الكلي للدول النامية المالكة للمحطات النووية الى حوالي ٢٤ أو ٢٥ دولة. وقد قدرت دراسات وتوقعات الوكالة الدولية للطاقة الذرية، التي أعلنتها في مؤتمر سالزبورج في مايو عام ١٩٧٧ ، بأن عدد الدول النامية المالكة لمحطات نووية سوف يصل عام ٢٠٠٠ الى ٣٦ دولة ، بما في ذلك ست دول أوروبية من الكتلة الشرقية وسوف يصل اجالي القدرة النووية المركبة في هذه الدول الى ٢٩٣ ـ ٤٣٧ جيجاوات كهربائي . وأبرزت الوكالة في تقريرها ، أنه في نهاية هذا القرن ، قد تصل نسبة توليد القوى الكهربائية من المحطات النووية المركبة في بعض هذه الدول الى حوالي ٥٠ ـ ٦٠٪ من أجمالي القوى الكهربائية بها. ومن بين الدول التي تخطط لبرامج نووية كبيرة تزيد عن ١٠٠٠٠٠ ميجاوات كهربائي الارجنتين والبرازيل والهند وايران وكوريا والمكسيك وباكستان ورومانيا وتابوان ويوغوسلافيا. ولعل أكثر الخططات طموحاً هو الخطط البرازيلي والذي يستهدف اقامة ٧٥١٠٠٠ ميجاوات كهربائي من المحطات النووية حتى عام ٢٠٠٠ . وتلى ذلك ابران حيث تخطط لاقامة ٥٠٠ر٠٠ ميجاوات كهربائي ، ثم المكسيك بمستهدف يصل الى ٥٠٠٠٠٣ ميجاوات كهربائي. ويبدو أن هذه الخططات قد تكون طموحة أكثر من اللازم، وقد يقل واقع التنفيذ كثيراً عن المستهدف وذلك يسبب عدداً كبيراً من المشاكل المختلفة والقيود التي تتعلق بالنواحي الفنية والصناعية والتجارية والاقتصادية والمالية والسياسية والسمات الدولية لتنمية القوى النووية.

وعلى الرغم من هذه المشاكل والقيود ، فإن الدول النامية ليس أمامها من

بديل سوى زيادة اعتادها على القوى النووية لسد احتياجاتها المتزايدة والملحة من الطاقة في المستقبل، ويعزى ذلك في المقام الأول الى التقديرات الأخيرة من أن الاحتياطي المالمي من البترول عدود السعة، ومن أن أسعار البترول سوف تسمر في الارتفاع. ولعل العقبة الكبرى التي تمثل السبب الرئيسي في بطء أو تأخر دول كثيرة عن تحقيق المستهدف في خططها نحو اقامة المحطات النووية، هي توفير التمويل الكبير اللازم لاقامة هذه المحطات، حيث أن استثاراتها للكيلوات المركب تصل الى أكثر من ضعف الاستثارات اللازمة لاقامة المحطات التقليدية. وهذه العقبة يمكن أن تمثل قيداً خطيراً على معنال ومدى ازدياد السعة الكهربائية النووية في العالم ككل بوجه عام، وعلى ادخالها في الدول النامية على وجه الخصوص.

٥ - ٢ التخطيط للبرنامج النووي

٥ - ٢ - ١ دراسات التخطيط للقوى النووية:

يوجد عدد من الخطوات والمهام الضرورية التي يجب القيام بها لتخطيط وبدء برامج القوى النووية بالنسبة للدول النامية التي تعتزم ادخال القوى النووية لانتاج الطاقة الكهربائية بها ، ثم يتبع ذلك تنفيذ المشاريع الخاصة مذلك .

وان أولى هذه المهام الضرورية هي الدراسات التخطيطية لاثبات الحاجة الى القوى النووية، وتحديد مدى البرنامج المطلوب. وتشتمل هذه الدراسات على الاحتياجات البعيدة المدى للطاقة ومدى ما يمكن أن تقدمه الموارد المحلية المتاحة نحو سد هذه الاحتياجات. وان تقييم دور القوى النووية في البرامج التي تستهدف سد الاحتياجات البعيدة المدى للطاقة سوف يعتمد في المقام الأول على الدراسات التفصيلية المقارنة لبدائل اختيارات الطاقة، وللمزايا الاقتصادية للمخططات المختلفة لتنمية نظم مصادر الطاقة. ولا بد أن تشتمل

هذه الدراسات ، بالاضافة الى المنافسة الاقتصادية للقوى النووية مع البدائل الأخرى لأنظمة الطاقة ، على عدد من العوامل والاعتبارات الأخرى ، منها حجم وتوقيت التشغيل للمحطة النووية ، المزمع تركيبها ، والوقت اللازم لتنميتها وانشائها واستلامها وتشغيلها. وذلك بالإضافة الى ملائمة أحجام المحطات المتاحة تجارياً لربطها بالشبكة الكهربائية الموجودة. ومن العناصر الهامة الأخرى التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار في مرحلة التخطيط لبرنامج القوى النووية التكاليف المستقبلة للمحطات ومتطلبات امدادها بالوقود مع التأكد من سهولة واستمرارية امدادات الوقود . وقد أجريت دراسات تخطيط القوى النووية في عديد من الدول النامية ، وأصبحت تمثل أساساً لبدء مشروعات القوى النووية في عدد منها. ومن أمثلة هذه الدراسات التخطيطية الدراسة المكثفة التي أجرتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية خلال عام ١٩٧٣ في أربعة عشرة دولة نامية ، عن مسح سوق القوى النووية . وقد نشرت الوكالة التقارير المنفصلة عن كل دولة على حدة والتقرير العام الذي احتوى النتائج التفصيلية لهذه الدراسات . وهذه التقارير متاحة عند طلبها من الوكالة الدولية للطاقة الذرية ويتوفر لدى الوكالة متخصصون لاجراء مثل هذه الدراسات ، يمكن ، بناء على طلب دولة ما ، أن يقوموا بدراسات التخطيط النووي لها ، وتتم هذه الدراسات كجزء من الخدمات الاستشارية التي تتيحها الوكالة للدول الاعضاء.

وبصفة عامة تستهدف دراسات تخطيط القوى النووية التي تجربها الوكالة الدولية للطاقة الذرية، الآتى: _

مراجعة نظم توليد وتوزيع الكهرباء لامكان تقديم المشورة بالنسبة
لأحجام الحطات النووية المناسبة التي يكن أخذها في الاعتبار بالنظر
الى منافستها الاقتصادية والى الوقت المناسب لادخالها وربطها بنظم
الشكة الكهر نائدة.

- ٢ ـ مراجعة الهيكل التنظيمي الحالي وتقديم المشورة بالنسبة للتنظيم في
 المستقبل والمتطلبات من القوى العاملة من الفنيين الدرين.
- ٣_ مراجعة المواقع المحتملة لبناء محطات القوى النووية على أسس من الاعتبارات الفنية.

وتعتبر الطرق المستخدمة في هذه الدراسات التخطيطية بواسطة الوكالة الدولية للطاقة الذرية، وكذلك بواسطة عدد كبير من الشركات والمنظمات الاستشارية الهندسية، راسخة ومعتمدة. وتنطوي الدراسة على تحديد الحد الأمثل للتوسع الكلي في حجم الشبكة الكهربائية، وذلك لتحديد الحجم الأمثل لوصلات الله الكهربائية والتوقيت الزمني المناسب لاضافتها للشبكة مع الأخذ في الاعتبار خصائص الحمل الكهربائي وكذلك استقرار مجموعة من القوى ومدى الاعتبار خصائص الحمل الكهربائي وكذلك استقرار مجموعة من برامج الحاسبات الالكترونية المناحة لدى الوكالة الدولية للطاقة الذرية ولدى غيرها من المنظمات. وعلى الدولة التي تجري بها مثل هذه الدراسة ان تجهز الكبربائية وخطط التنمية الصناعية والزراعية والاجتاعية، وتنبؤات المحبوبائية وخطط التنمية الصناعية والزراعية والاجتاعية، وتنبؤات المتقبلة من الطاقة لهذه الخطط، وموارد الطاقة المناحة محلياً وغير ذلك من العوامل الاقتصادية والغنية التي ترتبط بها.

ولا بد من التنويه هنا بأن دراسات التخطيط للقوى النووية، سواء أجرتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية أو هبئات استشارية خارجية، أو قام بها المسؤولون في الدول المعنية، هي دراسات ضرورية وهامة كخطوة أولى نحو تحديد الحاجة الى القوى النووية وتحديد حجم وتوقيت البرنامج المستقبلي للقوى النووية.

٥ - ٢ - ٢ دراسات الجدوى:

عندما يتم التثبت من أن الطاقة النووية تمثل بديلا اقتصادياً للمصادر الأخرى من الطاقة، وعندما تشير دراسات التخطيط المذكورة الى الحاجة للقوى النووية على المدى الطويل، تصبح الخطوة التالية هي صياغة وبدء المسروع لأول محطة للقوى النووية. ولا بد لهذا الغرض من اجراء دراسات الجدوى أو دراسات ما قبل الاستثار بالنسبة لمحطة قوى نووية معدة. و بحيب أن يكون واضحاً أن هناك اختلافاً واضحاً بين الدراسات التخطيطية والتي تعطي مؤشرات عن الاحتالات العامة والطويلة المدى للقوى النووية، ودراسات الجدوى التي تعالج بعمق مشروعاً محدداً بحجم محدد وفي موقع معين. وعلى الرغم من أن المدراسات التخطيطية يكن أن تتبسح عمدداً من العواصل الاقتصادية والفنية مثل حجم الوحدة وتوقيت انشائها والقواعد الاقتصادية العامة التي تدخل في الحسبان عند اجراء دراسة الجدوى، الا انه من الأسلمة التي تدخل في الحسبان عند اجراء دراسة الجدوى، الا انه من الأسلسة:

- الحجم الاقتصادي لمحطة القوى النووية التي يكن ادخالها في الشبكة
 الكهربائية المتاحة.
- ٢ اختيار موقع انشاء المحطة النووية وتحديد الملامح التفصيلية للموقع الذي يتم اختياره والمشاكل المتصلة به.
- سيطانات التنظيمية والاحتياجات من القوى العاملة لتنفيذ محطة القوى التووية.
 - ٤ متطلبات التنفيذ والتمويل.

وجدير بالذكر أن تحضير دراسة الجدوى يتطلب بيانات مكثفة وتحليلات فنية واقتصادية دقيقة لمحطة نووية معينة في موقع محدد، وتحت الظروف والمتغيرات السائدة في الدولة المعنية. وتقرير الجدوى هو من أهم وثائق محطة القوى النووية، ولذلك تجدر مراجعته وتقييمة بدقة في كل تفاصيله. وقد تم اعداد الكثير من هذه التقارير في الدول الختلفة على سبيل المثال في الفيلميين تم بواسطة مستشارين خارجيين وعن طريق أحد مشروعات برنامج الأمم المتحدة للتنمية من خلال الوكالة الدولية للطاقة الذرية. وقد أعدت مثل هذه التقارير أيضاً في مصر وكوريا ويوغوسلافيا بواسطة مستشارين خارجيين.

ويمكن أن تقوم السلطات المحلية في الدولة باعداد تقرير الجدوى الا أن المتبع هو أن تقوم السلطات المحلية في الدولة المعروفة وذات الخبرة الكبيرة باعداد هذا التقرير . ويرجع السبب الرئيسي في ذلك الى أهمية تقرير الجدوى في أية مفاوضات تجري بشأن تمويل الشروع ، كما انه سيكون مطلوباً من جميع مؤسسات التمويل . ولهذا فمن المتوقع أن يكون للتقرير وزن أكبر لدى تلك المؤسسات في حالة تهام جهة محايدة من الشركات الاستشارية المعروفة وذات السمعة العالمية باعداده .

٥ ـ ٣ مراحل ادخال مشروع المحطة النووية الأولى وخطوات تنفيذها:

بعد الانتهاء من الدراسات التخطيطية، والتثبت من الاحتياج الى برنامج للقوى النووية، وقوائد هذا البرنامج، يبدأ توجيه العناية نحو اتخاذ القرار باقامة المحطة النووية الأولى، في نطاق البرنامج الطويل المدى وعلى أساس نتائج وتقيم دراسة الجدوى. ويمكن تقسيم المهام الواجب مواجهتها للقيام بمثل هذا المشروع الى مرحلتين عددتين وهي: المرحلة الأولى هي مرحلة مقبل التعاقد وتشتمل على الخطوات الضرورية اللازمة للانتهاء من التعاقد مع احدى الشركات لتوريد المحطة واقامتها، أما المرحلة الثانية فهي التي تشتمل على خطوات تنفيذ المشروع الى أن يتم استلامه وقبوله وتشفيله.

٥ ـ ٣ ـ ١ مرحلة ما قبل التعاقد:

تتم خلال هذه المرحلة الدراسة التفصيلية لبعض النواحي الرئيسية وذلك قبل البدء في الخطوات المؤدية الى اختيار شركة معينة وابرام التعاقد معها لتنفيذ المشروع، وهذه النواحي هي: ـ

- أ. حالة الشبكة الكهربائية الوطنية، وقدرتها على استيعاب الأحجام الاقتصادية لمحطات القوى النووية المتاحة تحارباً.
- ب _ قدرة الدولة على اتاحة العدد اللازم من العمالة والمهارات الضرورية لاستيعاب التقنية النووية الجديدة والمعقدة، وان يمكنها كذلك ان تستخدمها على أكبر قدر من الكفاءة.
 - ج ـ وجود دولة مصدرة للقوى النووية مستعدة لتوريد المحطة النووية.
 - د ـ ضبان مصدر للوقود النووي طول عمر المحطة.
- هـ مصادر تمويل المشروع النووي للاستثارات اللازمة للمحطة والوقود
 اللازم لها ومن خلال دراسة هذه النواحي ، يتضح مدى المشاكل الختلفة
 التي ينبغي مواجهتها وحلها .

٥ - ٣ - ١ - ١ حالة الشبكة الكهربائية وتأثيرها على حجم المحطة:

يعتمد حجم المحطة على مقدار الاحتياجات للطاقة، وسعة وظروف تشفيل الشبكة الكهربائية بعض القيود على حجم الشبكة الكهربائية بعض القيود على حجم المحطة المطلوب ادماجها في هذه الشبكة. وإن اضافة محطة أكبر من اللازم يقتضي اضافة محطات توليد للشبكة للعمل كاحتياطي دائر وذلك لتحقيق الاستفادة الكاملة من هذه المحطة والا فانه يلزم تحويل جزء من خرج هذه المحطة الى احتياط دائر.

ومن أكبر الصعوبات في اختيار الحجم المناسب، هو صعوبة تحقيق الموازنة

المثلى لمتطلبات مجموعة القوى الكهربائية واقتصاديات حجم المحطة، والأحجام المتاحة تجارياً من المحطات النووية، مع الظروف السائدة وحجم الشبكة الكهربائية النووية في أغلبية الدول النامية. وفي معظم الحالات يتم اختيار حجم المحطة النووية بحبث تكون أكبر من الحجم الأمثل الذي يوفق بين حجم التعادل الاقتصادي وسعة الشبكة الكهربائية.

ولتوضيح هذه النقطة نأخذ كمثال حالة مشروع المحطة النووية الأولى في مصر فقد بينت الدراسات الدقيقة أن أنسب حجم للمحطة النووية التي يمكن ادماجها في الشبكة الكهربائية يتراوح من ٣٥٠ مل ١٥٥ ميجاوات كهربائي. الا أن معظم الشركات الكبيرة المنجلة للمحطات النووية الا تنتج أحجاماً أقل من ٢٠٠ ميجاوات ولذلك فقد تم اختيار الحد الأدنى المتاح لحجم المحطات النووية، وهو ٢٠٠ ميجاوات ولذلك فقد تم اختيار الحد الأدنى المتاح لحجم المحطات النووية، وهو ٢٠٠ ميجاوات المشاريف المشارع أول محطة نووية في مصر، المحطات النووية، وهو ٢٠٠ ميجاوات، لمسروع أول محطة نووية في مصر، وذلك بالرغم من ضرورة مواجهة المصاريف الاضافية في حجم الاستثارات وفي سمة الاحتياطي الدائر الاضافي اللازم للشبكة.

٥ ـ ٣ ـ ١ ـ ٢ . توفير الافراد المدربين في التقنية النووية:

ان توفير قاعدة من الخبراء الوطنيين القادرين على استيماب التقنية المعقدة المرتبطة بمحطات القوى النووية، هي من أهم المتطلبات الأساسية المسبقة لتنفيذ بحطة القوى النووية في أية دولة نامية. ويمكن اعداد القاعدة المريضة من الأفراد المؤهلين بحيث تغطى كل الجيالات المتصلة بالطاقة النووية، عن طريق التدريب بحلياً في مراكز البحوث النووية وفي الخارج بالايفاد لحضور دورات تدريبية في بعض الجيالات التخصصية المختارة، وان اعداد القاعدة المطلوبة من الأفراد الفنيين اللازمين لاستيماب هذه التقنية الجديدة يتطلب التخطيط الدقيق على مدى من السنين، وكذلك انفاق استغارات كبيرة.

ولا بد أن نتذكر حقيقة هامة في هذا الصدد، وهي ضرورة وجود مراكز أبحاث وتدريب محلية للاحتفاظ بنشاط هذه القاعدة من الأفراد وحمايتها من الاغراءات المادية والعملية التي تعرض من الخارج على مثل هؤلاء الافراد المؤهدين على أعلى المستويات. وحتى في حالة الاستعانة بالمكاتب الاستشارية الخارجية، فإن من الضروري توافر المناظرين من الأفراد الوطنيين، في التخصصات النووية وكذلك في التخصصات الهندسية التقليدية.

٥ ـ ٣ ـ ١ ـ ٣ وجود دولة مصدرة مستعدة لتوريد المعطة:

ان ابداء الاستعداد من قبل احدى الدول المتقدمة صناعياً لتوريد المحطة النووية لدولة نامية هو من العوامل الهامة في تحقيق وتنفيذ أي مشروع نووي، فقد أصبح نقل التقنية النووية حالياً يرتبط أكثر وأكثر مع السياسات الدولية على غير ما هو الحال بالنسبة للمجالات التقنية التقليدية. وطالما يظهر التخوف من الانحراف بالتقنية النووية للاستخدامات غير السلمية عندما تفكر أي دولة في اقامة محطتها النووية الأولى. وان تصدير التقنية النووية يخضع بدرجة كبيرة لرقابة محكمة وضهانات ضد انتشار الأسلحة النووية.

٥ ـ ٣ ـ ١ ـ ٤ تأمين مصادر الوقود النووي طوال عمر المحطة:

ان استمرار توريد الوقود وتقديم خدمات دورة الوقود طوال عمر المحطة يعتبر واحداً من أهم النواحي الصعبة، بل لعله من أصعب المسائل وأكثرها اثارة للتشكك ويجب أن يكون موضعاً للعناية الشديدة. وقد أصبحت بعض خدمات دورة الوقود، مثل اثراء اليورانيوم واعادة معالجة الوقود المستنفذ، احتكاراً لعدد صغير من الدول كما تخضع لرقابة ولا تفاقيات حكومية خاصة. ويحتاج الأمر الى فترة انتظار طويلة للحصول على هذه الخدمات بما يقتضي التزامات مالية مسبقة ونظم ادارة وتخطيط معقدة. ولم يعد اليورانيوم مناحاً حالياً في السوق المفتوحة، كما استمر سعر العجينة الصفراء في سوق اليورانيوم حالياً في السوق المفتوحة، كما استمر سعر العجينة الصفراء في سوق اليورانيوم

في ارتفاع مستمر خلال السنوات الأخيرة . لكل هذه الأسباب يجب تأمين توريد الوقود والحصول على خدمات دورة الوقود طوال عمر المحطة ، ويقتضي ذلك الحصول على ضهانات كافية من المورد والمصنع قبل انهاء اجراءات التعاقد على المشروع .

٥ ـ ٣ ـ ١ ـ ٥ الغطاء المالي للمشروع النووي:

يثل التمويل صعوبة أخرى متوقعة عند التقدم الى الدول المصدرة للعصول على عطة نووية نظراً لأن رأس المال المستثمر في هذه المحطات من الضخامة بمكان بحيث تعجز معظم الدول النامية على توفيره من مصادرها الذاتية ، وفي معظم الأحوال تتيح الدولة المصدرة تغطية جزء أو نسبة كبيرة من القرض اللازم لتمويل المشروع ، على أن يتم توفير باقي التمويل من البنوك أو المصادر المالية الأخرى بشروط ميسرة . وتدل الخبرة على أن توفير التمويل ليس داغًا بالمهمة السهلة . وقد لجأت بعض الدول في الواقع الى الحصول على قروض من عدد كبير من البنوك حتى يمكن لها تغطية الاعتادات اللازمة لا قامة المحطة والحصول على الوقود .

٥ ـ ٣ ـ ٢ خطوات التعاقد على مشروع المحطة النووية:

عندما يتقرر اقامة أول محطة نووية ، فان وضل مثل هذا المشروع الكبير موضع التنفيذ ينطوي على عدد من الأعمال الهامة التي يجب القيام بها للوصول الى تعاقد ناجح مع مورد مختار لتصميم واقامة المحطة . ومن المهم تحقيق كل من المهام المطلوبة خلال مرحلة ما قبل التعاقد في أوقاتها المحددة حتى يكن تحقيق الجدول الزمني بالنسبة لانشاء وتشغيل المحطة في المواعيد المحددة ، اذ أن التأخير في انهاء هذه المهام في المواعيد المقررة قد يؤدي الى خسائر مالية كبيرة ، خاصة بالنسبة للتصاعد المستمر في أسعار المواد وتكاليف الحدمات .

وسوف نناقش باختصار فيا يلي كلا من المهام التي تتضمنها هذه المرحلة ، مع التركيز على المشاكل المختلفة التي تواجه التنفيذ.

٥ ـ ٣ ـ ٢ ـ ١ التنظيم واعداد الأفراد:

من المشاكل العاجلة التي تتم مواجهتها في بدء مشروع محطة نووية هي اقامة التنظم اللازم من الأفراد الوطنيين لهذا المشروع، وتعريف وتوصيف مدى الخبرات الأجنبية المطلوب تغطيتها بالمستشارين الأجانب، ومن الضروري بالنسبة لمهام مرحلة ما قبل التعاقد، في أي دولة نامية، استخدام هيئة استشارية أجنسة. وهذه الهبئة ضرورية ليس فقط لتغطية مجالات الخبرة والتخصص الغير متاحة محليا مثل تأكيد ورقابة الجودة والمعايير والمواصفات القياسية ، والأمان وغير ذلك من الجالات ، بل للمساعدة أيضاً في انجاز المهام الأخرى الختلفة في أقصر وقت ممكن. وبالإضافة الى ذلك يوجد حجم كبير من الأعمال التي يجب انجازها لتحضير التقارير والوثائق حتى تكون صالحة للاستخدام الأمثل وبكفاءة كبيرة بواسطة الهيئات الاستشارية. وان تشكيل منظمة وطنية من المهندسين والعلماء الذين يتم اختيارهم من ذوى المؤهلات العالية ، هو من العناصر الرئيسية لنجاح المشروع . وان الاعتاد على المستشارين الأجانب دون توافر من يناظرهم من الخبرات المحلية العالية يمكن أن يكون مضيعة للجهد والمال. وفي العادة لا يكون حجم المنظمة المحلية كبيراً في المراحل الأولى ، ويكون من أول أعمالها تخطيط وتنظيم المهام المختلفة ، والتحديد الدقيق للأعمال التي سيعهد بها الى المكتب الاستشاري. كما ان اختيار المكتب الاستشاري ليس من المهام السهلة ، ويجب أن يعتمد اساساً على حصيلة خبراته السابقة في مشروعات مماثلة ، وعلى سمعته وعلى التقيم الدقيق لمزايا وعيوب اختيار المكتب الاستشاري من نفس الدولة التي تصنع فيها المحطة أو من دولة أخرى.

٥ - ٣ - ٢ - ٢ | اعداد المواصفات والدعوة الى تقديم العطاءات:

قبل البدء في تحضير وثائق الدعوة الى المطاءات، لا بد من التحديد الدقيق الواضح لعدد من العوامل الأساسية. وأهم هذه العوامل حجم ونوع نظام المفاعل ونوع التماقد ونطاق التوريد، والمعلومات المتصلة بالموقع.

وبالنسبة للمحطة النووية الأولى في أية دولة نامية ، يجب حصر الاختيار بالنسبة لنظام المفاعل على الأنواع المثبت صلاحيتها فقط ، والمطلوب هنا هو تحديد ما اذا كان من الأفضل ترك الباب مفتوحاً للمطاءات لجميع أنظمة المفاعلات المتاحة ، أو تحديد اختيار مسبق حق تقتصر العطاءات على نظام واحد أو انظمة معينة . فعلى سبيل المثال يمكن قصر الاختيار على نظام مفاعلات اليورانيوم المشرى أو الطبيعي ، بل وفي حالة مفاعلات اليورانيوم المشرى أو الطبيعي ، بل وفي حالة مفاعلات اليورانيوم المثرى على نظام مفاعلات الماء المضغوط ، أو نظام مفاعلات الماء المضغوط ، أو نظام مفاعلات الماء المضغوط ، أو نظام مفاعلات الماء المضغوط .

وان تحضير المواصفات التفصيلية هو أحد المهام الشاملة الواسعة، ويمكن تبسيطها الى درجة كبيرة اذاتم اعدادها بالنسبة لنظام واحد فقط من أنظمة المفاعلات، ويؤدي ذلك ليس فقط الى الاقلال من الجهود المبنولة في الاعداد بل أيضاً الى تقصير الوقت اللازم لتحليل العطاءات وتحديد الاختيار النهائي. والمتغير الثاني المزم تحديد بدقة في وثائن الدعوة الى تقديم العطاءات هو حجم المحطة أو مدى الأحجام التي يمكن قبولها. وهذا المتغير له أهمية خاصة في تقييم العطاءات ولاجراء المقارنة العادلة والدقيقة بينها وكذلك لتقييمها الفي والاقتصادي. وفي وثائق الدعوة للعطاءات يجب تحديد نوع التعاقد المطلوب، ومجال التوريد والخدمات، بدقة كبيرة ووضوح تام كما بجب النص على الشروط التعاقدية والقانوية، والتحديد التفصيلي لهذه النواحي في وثائق الدعوة للعطاءات بمكن أن تؤدي الى وفر كبير في الجهد والوقت خلال مرحلة التفاوض لابرام التعاقد. ويجب أن تتضمن وثائق طلب العطاءات أيضاً

معلومات عن الموقع بأدق التفاصيل المكنة، وخاصة العوامل الحساسة مثل ظروف الزلازل وقدرة تحمل التربة وتوفر مياه التبريد... الخ حيث أن هذه المعوامل يمكن أن تكون لها انمكاسات كبيرة على التكاليف.

ومن المهم التأكيد بأن التحضير الدقيق الكامل لوثائق الدعوة للعطاءات هو واحد من أهم العوامل التي يكن أن توفر جزءاً كبيراً من الوقت والجهد والتكاليف في المراحل المتنابعة لتقيم المطاءات والتفاوض على التعاقد.

٥ ـ ٣ ـ ٢ . ٣ تقيم العطاءات:

ان تقييم العطاءات التي تتقدم بها الشركات العالمية هو أحد المهام الكبيرة ، ولا بد من التحديد الدقيق للأسس التي تتم بمقتضاها المقارنة الاقتصادية والفنية بين تلك العطاءات ، خاصة اذا كانت الفروق بين العطاءات فروقاً كبيرة من حيث نطاق التوريدات والخدمات ، والضانات ، والالتزام بالمعايير والمواصفات القياسية. وأن الماواة بين العطاءات تستلزم الحكم الدقيق على العوامل الاقتصادية والنواحي الفنية الأساسية. وقد يكون من الضروري استخدام طرق متعددة للمقارنة خاصة عند التعامل مع أنظمة مختلفة للمفاعلات. ومن بعض العناصر الهامة التي يجب أخذها في الاعتبار عند تقييم العطاءات هي درجة استجابة المورد للدعوة للعطاء ، ومدى التزامه بالمواصفات ، وارتباطه بنطاق التوريدات والخدمات المطلوبة ، وجودة المعدات ، وتأكيد الجودة ، والضانات وأداء المحطة. وان المساعدة الشاملة لمكتب استشارى ذي خبرة عالية في هذه المرحلة هي من الأمور الهامة الا انه يجب أن يشارك المهندسون والأفراد الفنيون الوطنيون مشاركة فعالة الى أقصى درجة ممكنة ، مع المتابعة عن قرب لتحاليل وتوصيات المكتب الاستشاري. ويجب أن تقوم المجموعات المحلية باعداد التوصيات والقرارات النهائية على أساس الدراسات التي قام بها المكتب الاستشاري ، وعلى أساس التقييم الدقيق لنتائجه مع أخذ الظروف المحلية في الاعتبار.

٥ - ٣ - ٢ - ٤ بيانات الموقع:

يجب البدء في مرحلة متقدمة بقدر الامكان ، مجمع واعداد المعلومات الأولية عن الموقع المختار . ويجب أن يقوم بالبحوث التفصيلية والدراسات الخاصة بالموقع مجموعات متخصصة ومقاولون من الباطن . وتتطلب دراسات الموقع فترات زمنية طويلة خاصة دراسات الارصاد الجوية والدراسات الخاصة بالمياه الجوفية ولذلك يصبح البدء المبكر بهذه الدراسات ذا أهمية كبيرة . ومن المهم كذلك الأخذ في الاعتبار بعض الامدادات الضرورية للمعل في الموقع مثل موارد المياه والكهرباء والمنشآت المؤقتة والطرق الخ. ولا بد من اعداد هذه الامدادات في الوقت المناسب حتى يمكن تلافي التأخير غير الضروري والمحافظة على البرنامج الزمني للانشاء والتشغيل .

٥ - ٣ - ٣ - ٥ مفاوضات التعاقد:

ان المهمة الأولى التي يجب انجازها في مرحلة التفاوض بشأن التماقد هي التحديد الدقيق والواضح لشروط التعاقد ، وتحديد مسؤوليات المورد من ناحية نطاق التوريدات والخدمات والانشاء واحتياجات العمالة الخارجية ، والضانات والالتزام بالمواصفات والمايير والتشريعات المطبقة عامة بالنسبة للمحطة وتكمن الصعوبة الأساسية في هذه المرحلة في أن معظم الموردين يلجأون الى تضييق نطاق التوريدات والسؤوليات الملقاة على عاتقهم ، ملقين يجالات واسعة غير عددة المعالم على عاتق مالك المحطة . ويكن أن يؤدي مثل هذا الوضع الى ارتفاع كبير في تكاليف المشروع بالاضافة الى صعوبات في ادارة وتنفيذ الأعمال والمحافظة على جدول المواعيد . وعلى أية حال فلا بد من توجيه عناية دقيقة لتفادي أي نقص في التعريف الدقيق لنطاق الأعمال ولتحديد المسؤولية عن المشروع كله على عاتق مقاول واحد .

٥ ـ ٣ ـ ٣ مثال الخبرة المصرية في مشروع المحطة النووية الأولى:

لقد كانت اقامة برنامج للقوى النووية في مصر قيد النظر منذ عام ١٩٦٣ وقد أدت دراسات ظروف الشبكة الكهربائية ، والتقييم الاقتصادي وكذلك المحطات النووية المتاحة تجاريا في ذلك الوقت، الى اختيار حجم المحطة النووية الأولى بقدرة ١٥٠ ميجاوات كهربائي. وأعدت مواصفات المشروع خلال عام ١٩٦٤ وطرحت في مناقصة عالمية مفتوحة فقط للمفاعلات معتمدة الصلاحية . وقد تقدمت أربعة من الشركات العالمة بعطاءاتها في هذه المناقصة ، هي شركة وستنجهاوس الأمريكية التي تقدمت بمحطة من نوع مفاعلات الماء المضغوط، وكل من شركة جنرال اليكتريك (G.E) الأمريكية وشركة (A.E.G.) الالمانية بمحطة من نوع مفاعلات الماء المغلى ، وشركة سيمنز الالمانية بعطاء لمحطة من نوع مفاعلات الماء الثقيل. وقد تم انهاء تقيم العطاءات الأربعة واصدار خطاب النوايا الى شركة وستنجهاوس عام ١٩٦٦ ، الا انه لم يمكن السير في تنفيذ المشروع وذلك لصعوبة الحصول على التمويل اللازم في الظروف التي انبثقت عن حرب عام ١٩٦٧ . وفي عام ١٩٧١ . تمت مراجعة شاملة لموقف وظروف القوى والشبكة الكهربائية ، وذلك في محث قدم للمؤتمر الدولي الرابع للاستخدامات السلمية للطاقة الذرية ، والذي عقد في جنيف عام . 1441

ويشمل هذا البحث دراسة امكانية ادخال محطات القوى النووية وادماجها في الشبكة الكهربائية حتى عام ٢٠٠٠، كما تمت صياغة برنامج نووي طويل المدى، وكذلك دراسة الأحجام الاقتصادية المناسبة لمحطات القوى النووية تحت فروض اقتصادية مختلفة.

وفي عام ١٩٧٤، اتخذ القرار بالبدء في البرنامج النووي في ضوء نتائج هذه الدراسة، وذلك بالبدء في مشروع اقامة المحطة النووية الأولى بقدرة ٦٠٠ ميجاوات كهربائي، في موقع على الساحل الشائي، يبعد ثلاثين كيلومتراً غرب الاسكندرية (سيدي كرير). وعقب صدور القرار بدأ اتخاذ الخطوات اللازمة لبدء وتنظيم المهام الضرورية لتحقيق هذا المشروع الكبير، وكانت أولى هذه المهام هي اختيار نظام مفاعل المعطمة النووية ، ووقع الاختيار على نوع مفاعلات الماء العادي التي تستخدم اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة كوقود، وذلك بعد الدراسة الدقيقة للاعتبارات الختلفة والتحليلات التفصيلية المقارنة للنواحي الفنية والاقتصادية ، وبحيث يبقى الباب مفتوحاً للمنافسة بين نوعين من المفاعلات وهما نوع الماء المضغوط ونوع الماء المغلي. وبناء عليه تم في يونيو عام ١٩٧٤ ابرام اتفاقية لاثراء الوقود مع لجنة الطاقة الذرية الأمريكية (حاليًا هيئة بحوث وتنمية الطاقة). وفي أغسطس ١٩٧٤ تم الانتهاء ، من اعداد الدعوة للعطاءات بواسطة وزارة الكهرباء وهيئة الطاقة الذرية. وقد احتوت هذه الدعوة للعطاءات على تغطية عامة للمتطلبات الفنية والتجارية ولكنها لم تتضمن المواصفات التفصيلية. وقد أرسلت الدعوة الى أربعة من الشركات الأمريكية المنتجة للمحطات النووية ، ولم تتقدم سوى شركة جنرال الكتريك، وشركة وستنجهاوس الأميركية بعطاءات استجابة لهذه الدعوة، وذلك في فبراير سنة ١٩٧٥ . وبعد التقييم الفني والاقتصادي للعطاءين وقع الاختيار على شركة وستنجهاوس للتفاوض بشأن ابرام العقد لتصميم وبناء المحطة النووية، وأصدر خطاب النوايا للشركة المذكورة في مارس ١٩٧٦. ويتم في الوقت الحالي التفاوض مع شركة وستنجهاوس بهدف ابرام عقد يغطى النواحي الفنية والتجارية والتعاقدية والقانونية، والتعريف الدقيق لنطاق مهام المورد في انجاز المشروع مع التعهدات والضانات الملائمة وجدول التنفيذ. كذلك تم اختيار شركة استشارات هندسية أمريكية (بيرنز اندرو) لتقديم الخدمات الهندسية والمعاونة في النواحي الختلفة أثناء العمل بالشروع، وكذلك تقييم العطاءات ومفاوضات التعاقد والمهام الأخرى في مرحلة ما قبل التعاقد.

ومن المأمول أن يتم ابرام العقد مع شركة وستنجهاوس خلال عام ١٩٧٩ ،

ثم يعقب ذلك انشاءات الموقع خلال نفس العام. وعلى أساس الاعتبارات السابقة وفي ضوء الخبرة المكتسبة في مصر أثناء المراحل الختلفة لبدء برنامج النوى النووية، وفي ضوء الخطوات التي تمت بالنسبة لمشروع المحطة النووية الأولى في مصر، يمكن الوصول الى عدد من النتائج المتصلة بتنفيذ المحطات النووية الأولى في الدول النامية. وتتلخص هذه النتائج في النقاط الأساسية .

١ _ بعد أن تثبت الدراسات جدوى اقامة المحطة النووية ، فإن أول القرارات الواجب اتخاذها هو اختيار نظام المفاعل الذي سيتم استخدامه للمحطمة النووية . ومن بين الأنواع المتاحمة المعتمدة الصلاحية ، يكون الاختيار أولا بين أنواع المفاعلات التي تستخدم وقود اليورانيوم الطبيعي أو تلك التي تستخدم وقود اليورانيوم المشرى وان الأسباب الفنية والسياسية والاقتصادية التي تبرر اختيار أي من النوعين معروفة جيداً ولا داعي لاعادة سردها في هذا المجال. الا أن ما يجب تأكيده هو ان الاختيار المسبق لأى من النوعين قبل الدعوة للعطاءات سوف يؤدى الى توفير الكثير من الوقت والجهد والتكلفة عند تقيم نظم لأنواع مختلفة من المفاعلات ، والتي غالباً ما تكون ذات أحجام مختلفة . بل انه قد يكون من المرغوب فيه ، عند اختيار أنواع مفاعلات وقود اليورانيوم المأرى، تحديد اختيار مسبق قبل الدعوة للعطاءات بن نوعي مفاعلات الماء المضغوط، ومفاعلات الماء المغلى. وقد دلت الخبرة المكتسبة في مصر في عام ١٩٦٤ وعام ١٩٧٤، من خلال نتائج تقييم العطاءات لهنين النوعين من المفاعلات صعوبة اختيار أحد النوعين دون الآخر ، بالنظر الى الفروق الطفيفة بنن النوعسين من حست الاقتصاديات، وبالنظر الى الاختلاف في نطاق التوريدات والخدمات، . والاختلاف في أحجام المحطات التي تقدمها الشركات على أساس انها

التصميات القياسية المتاحة لديها ، ودون الالتزام بالحجم المنصوص عليه في المواصفات.

٢ _ عند اعداد الدعوة الى العطاءات لا بد من تحديد نوع العقد المطلوب فاما أن تكون المحطة «تسليم المفتاح» أو توريد محدود أو توريد النظام النووي لتوليد البخار فقط . . . الخ. وبجب أن تحدد وثائق الدعوة الى العطاءات تحديدا دقيقا ، وبكل التفاصيل المكنة الشروط التعاقدية والشروط العامة التي سوف تصبح أساس التعاقد مع الشركة التي يرسو عليها العطاء. كما يجب أن يتم تحديد ظروف الموقع وحالته تحديداً دقيقاً . وبالنسبة لنوع وحجم المفاعل فانه يجب تحديدها مع وضع حدود التفاوت المسموح به فيهما ، وفيا يتصل بالحجم فانه يجب ذكر حدود هذا التفاوت بوضوح والالتزام به. وقد يكون من المفيد اضافة المواصفات الفنية التفصيلية ، الا أن فائدتها محدودة بالقارنة الى الجهد والتكلفة اللازمة لاعدادها ، خاصة وإن الثيركات الموردة ، وبالذات بالنسبة لأنواع المفاعلات معتمدة الصلاحية ، تتقدم عادة بعطاءات تشتمل على وحدات قياسية من تصميمهم وبمواصفاتهم الخاصة. ومن الأهمية بمكان أن تشتمل وثائق الدعوة للعطاءات على المواصفات القياسية وكذلك المعايير واللوائح التشريعية ومواعيد تطبيقها ، وعلى المفاهيم التصميمية الرئيسية التي يجب على المورد اتباعها.

٣ وكما ذكر من قبل، بالنسبة لمهمة تقييم العطاءات، فانه يكن تبسيطها الى حد كبير بالاختيار المسبق لنوع واحد من المفاعلات، على سبيل المثال مفاعلات الماء المضغوط أو مفاعلات الماء المثنيل المضغوط أو غيرها، ويجب المحافظة على عنصر المنافسة بين عدد من الشركات الموردة بالنسبة لنفس الحجم ونطاق التوريدات والخدمات المحددة المعالى، وبالنسبة كذلك للشروط العامة للتماقد. وليس من العملى

تقييم عطاءات لنوعين أو ثلاثة من أنواع المفاعلات مثل مفاعلات الماء المضغوط ، ومفاعلات الماء المغلي ومفاعلات الماء الثقيل المضغوط ، اذ أن ذلك سوف يؤدي الى نتائج مربكة لا تساعد على اتخاذ قرار بسهولة.

- ع. وبالنسبة لدولة نامية تسعى لاقامة محطتها النووية الأولى فانه من المغروري على وجه المعوم الاستمانة بمكتب استشاري اجنبي من ذوي الخبرة ، الا انه يلزم توجيه جهود هذا المكتب الى أعمال معينة ومحددة تحديداً دفيقاً. ويجب توافر مجموعة من الأفراد المحليين ذوي التأهيل المتميز للعمل كنظراء مع خبراء المكتب الاستشاري، ولتابعة وتقيم النتائج والتوصيات التي يعدها هذا المكتب. ويجب أن تبنى قرارات السلطات المعنية على ما تعرضه مجموعة الخبراء المحليين المسؤولين عن المشروع ويجب عدم ترك هذه المهمة كاملة للمكتب الاستشاري.
- ٥ ومن الأعباء الهامة التي يجب تأديتها بعناية ، هي بحوث الموقع . ويكن توفير الكثير من الجهد والوقت والمال في تنفيذ المشروع اذا توافرت بيانات دقيقة ومعطيات عن الموقع في مرحلة متقدمة. فان التصميات المقدمة من المشتركين في المطاءات التي تعتمد على بيانات غير دقيقة أو بيانات افتراضية للموقع ، سوف تتضمن قدراً كبيراً من عدم التحقق بما يقتضي تغييرات رئيسية أثناء مرحلة التفاوض على التماقد أو بعدها.

٥ ـ ٣ ـ ٤ مرحلة التعاقد والتنفيذ:

بعد انتهاء مفاوضات التماقد على الشروع مع المورد الذي يتم وقوع الاختيار عليه، يلزم أن تتضمن وثائق العقد التعريف الدقيق والواضح لنوع التعاقد الذي تم ابرامه ونطاق مهام المورد وتوزيع المؤوليات بينه وبين مالك المحطة خلال المراحل الختلفة لجدول التنفيذ المتفق عليه. ويمكن تلخيص النقاط الرئيسية التي يجدر أخذها في الاعتبار خلال هذه المرحلة فيا يلى: ـ

- أ _ بجب التحديد الدقيق الواضح لنوع التماقد مع المورد الرئيسي للمفاعل وفيا اذا كان العقد تسليم المفتاح «لكل المحطة أو تماقد على « الجزيرة النووية » أو « مجموعة النظام النووي لتوليد البخيار » فقط. ان الفروق الرئيسية بين هذه الأنواع من المعقود ، وخاصة في تحديد نطاق المهام أو طرق التنفيذ ، يكن أن تؤدي الى خلافات خطيرة وتأخير في التنفيذ، ما لم تكن محددة بوضوح في وثائق المعقد وقبل البدء في الأعمال التنفيذية للمشروع.
- ب _ ومن المتطلبات الضرورية أيضا ان يتعدد بوضوح تنظيم ادارة المشروع وادارة الانشاء ، كما يجب تحديد مسؤوليات كل من المورد والمالك بالنسبة لمذا الأمر تحديداً واضحاً ، وخاصة بالنسبة للملاقات المتداخلة بين مالك المحطة والمورد الرئيسي والمقاولين الرئيسيين من الباطن للأعمال المدنية والميكانيكية والكهربائية .
- ج _ يجب أن تم الأبحاث التفصيلية للموقع بالاشتراك مع المورد الرئيسي، وذلك بهدف التحديد الدقيق لموقع انشاء المحطة داخل نطاق المنطقة السابق اختيار اثناء التخطيط للمحطة ودراسات الجدوى المتصلة بها، على أن يكون من الواضح تحديد مسؤولية المورد الرئيسي عن مناسبة الموقع الختار لاقامة المحطة واستيفائه المتضيات الأمان. كما يجب أن يراجع المورد الرئيسي البيانات الفنية الاضافية اللازمة لتصميم المحطة، ويتحقق من صحتها، ويجب أن يتضمن المقد بوضوح تحديد المسؤوليات وجدول الأعمال التمهيدية للموقع، واعداده بالمرافق اللازمة مثل الطرق والكهرباء والمياه والمباني المؤقتة ووسائل التصالات وغير ذلك، وكذلك المسؤولية عن جدول التنفيذ.

- ومن أهم ما يجب أن يتضمنه المقد من بنود بوضوح تام ، هي التمهدات والضانات التي يقدمها المورد الرئيسي بالنسبة للمحطة كلها واداء الوقود والمواد ودقة التصنيح وضبط وتأكيد الجودة أثناء تصنيح المعدات وانشاء المحطة وقد يكون الوضع بالنسبة لهذه التمهدات والضانات واضحاً بالنسبة لمحطة «تسليم المقتاح » الا انه بالنسبة لمعض الأنواع الأخرى من العقود التي تتوزع فيها المسؤوليات بين المورد الرئيسي ومقاولين من الباطن ومالك المحطة، فانه يجب توضيح وتحديد التمهدات والضانات ، ويجب وضع المسؤولية الكاملة ، في جميع الحالات ، على عائق المورد الرئيسي وحده .
- هـ ويجب أن يعد المورد الرئيسي، قبل البدء في انشاء المحطة، تقريراً أولياً عن تحليل الأمان. وهذا التقرير يعتبر واحد من أهم وثائق المحطة، والتي يجب مراجعتها بدقة من السلطات المعنية، قبل منح ترخيص انشاء المحطة. ولهذا يجب أن يتم اعداد هذا التقرير بعناية وفي نفس الوقت مع مفاوضات التعاقد والمراحل الأولية للتصميم حق لا يتعرض بدء تنفيذ المشروع لتأخير غير ضروري.

وتدل الخبرة في بعض البلدان على أن مثل هذا التأخير بمكن أن يطيل الزمن الكلي للتنفيذ بفترة تتراوح من سنة الى سنتين.

وبالنسبة لدولة نامية تبدأ مشروع محطتها النووية الأولى ، فقد لا تكون ألي تكون ألي السلطات المعنية بمنح التراخيص قد تكونت بعد ، أو تكون ألي المراحل الأولية لتكوينها ، وهنا يجب أن يقدم المورد الرئيسي تمهدا واضحاً باثبات وتأكيد أن المحطة قد تم تصميمها بما يتفق مع اللوائح والمواصفات القياسية ومعايير الأمان في دولة المورد الرئيسي .

ويجب أن ينص العقد بوضوح على أن المورد الرئيسي مسؤول مسؤولية كلية

عن تقديم تقرير تحليل الأمان ، وعلى أن مالك المحطة سوف يقدم فقط البيانات اللازمة المتصلة بالموقع وعن تنظيم الفريق المسؤول عن الشروع من ناحيته . كذلك فان تحديث تقرير تحليل الأمان خلال فترة تصميم واقامة المحطة ، هو واحد من المسؤوليات الأساسية للمورد الرئيسي ، وسوف تساعد هذه المراجعة التأكد من أن التقرير النهائي لتحليل الأمان ، والذي سوف يكون أساساً لمنح الترخيص بتشفيل المحطة ، يمكس بدقة حالة المحطة كما تم بناؤها .

ومن الطرق المفيدة التي غالباً ما يتم اللجوء اليها ، أن يحدد المورد احدى المحطات التي قام أو يقوم ببنائها في بلاده أو في غيرها تؤخذ كمرجع يستشهد به . وهذه المحطة المستشهد بها تساعد على اثبات أمان المحطة وصلاحيتها للترخيص ، الا أن اللجوء الى مفهوم المحطة المستشهد بها ، يقتضي اختيار محطة قريبة الصلة بالمحطة المزمع اقامتها من حيث النوع والحجم وكل التفاصيل التصميمية ، بما في ذلك التغييرات التي طرأت على التصميم خلال مراحل تنفيذ هذه المحطة . ولا يجب أن تكون المحطة المستشهد بها قد أقيمت منذ أمد بعيد

ومما يجدر النصح به بالنسبة لكل النواحي السابق الاشارة اليها ، أن يقوم مكتب خبرة مختص وخارجي بمعاونة المجموعة المسؤولة عن اقامة المحطة من طرف المالك ، وذلك بتقديم المشورة والمساعدة والخبراء اللازمين أثناء مراجعة التصميم ، وفي المسائل المتصلة بالأمان ، وفي الاشراف على الأعمال التي ينفذها المقالون أثناء المراحل المختلفة لاقامة المحطة ، وعمليات القبول والاستلام واختمارها وتشفيلها .

٥ ـ ٤ المتطلبات القانونية والتنظيمية:

هناك بعض الاعتبارات الهامة القانونية والتنظيمية التي يجب أخذها في الاعتبار عند تنفيذ برنامج للقوى النووية في دولة نامية، وذلك في المراحل

الأولى من تنمية البرنامج النووي.

وهذه المتطلبات القانونية والتنظيمية لأزمة لوضع قواعد ونظم منح التراخيص، ولتغطية المؤولية عن الاضرار النووية التي تقع للطرف الثالث. ومنح الترخيص من المتطلبات الضرورية عند اقامة وتشغيل محطات القوى النووية للتأكد من أن تصميم المحطة وانشائها وتشغيلها، تمكس بكفاءة معايير ومقاييس الأمان التي تتطلبها الطبيمة الخاصة للطاقة النووية. ويجب أن يكون لدى حكومة الدولة المنية السلطات القانونية والتنظيات التشريعية القادرة على تشريع وتنظيم الأنشطة النووية للأغراض السلمية والرقابة والاشراف النامال عليها. ومن الضروري أن يكون هناك تشريع نووي خاص لاعطاء الاطار القانوني لهذا الغرض. وان العناصر الأولية لمثل هذا التشريع تتضمن الآتي: .

- أ _ الوقاية من الاشعاعات والأمور المتصلة بها مثل الوسائل الخاصة بتداول
 ونقل المواد النووية .
- ب ـ سلطات منح التراخيص ومتطلبات ترخيص المنشآت النووية وترخيص مواقم محطات القوى النووية.
- ج نظام خاص لتأكيد الحماية الكافية للطرف الثالث عن الاضرار النووية
 التي قد تنجم عن حادثة نووية.

وفي نطباق مثبل هذا الاطبار التشريعي يمكن تبأسيس السلطة التنظيمية الضرورية للقيام بالمهام والمسؤوليات القانونية ولاتخاذ الاجراءات اللازمة المتصلة بتنمية القوى النووية.



ملحق (أ)

الاعتبارات الدولية للقوى النووية

(١) الضانات:

بدأ تطبيق أنظمة الضانات على أسس ثنائية ، حيث تضمنت اتفاقيات التعاون الثنائية المبرمة بين الدول المتقدمة صناعياً وغيرها من الدول، بنوداً لتطبيق نظم الضانات على صادراتها من المواد والمنشآت النووية . وقد نصت شروط الضان على أن يكون للدولة المصدرة الحتى في التفتيش على المواد والمنشآت المصدرة للتحقق من عدم استخدامها للأغراض العسكرية.

وبعد ذلك عهدت الولايات المتحدة الأمريكية، وغيرها من الدول المصدرة، الى الوكالة الدولية للطاقة الذرية، مسؤولية تطبيق نظم الضانات الثنائية، وذلك بمقتضى نظام ضانات هذه الوكالة، والذي أعده وأقره مجلس المحافظين لها، وتم نشره في الوثيقة المرقمة (INFCIRC/66/Rev.-2)، وقد التتحم تطبيق نظام ضانات الوكالة على المواد والمنشآت النووية الخاضمة لهذا النظام، وكذلك على المواد والمونة الفنية التي تقدمها الوكالة الدولية للطاقة الذرية. وقد نصت اللائحة الأساسية للوكالة الدولية للطاقة المدولية المعانة منظام الضانات في «أن تتأكد الوكالة ، بقدر ما تستطيع، من أن المعونة المقدمة منها، أو بناء على طلبها، أو تحت اشرافها أو رقابتها، لن تستخدم بطريقة أو بأخرى لمساندة أية أغراض عسكرية ».

وقد اقتصر نظام ضانات الوكالة في بادىء الأمر ، على المعدات الصغيرة غير الحساسة . وعندما بدأ تطبيق أول نظام للضانات بواسطة الوكالة الدولية للطاقة الذرية عام ١٩٦٠ ، اقتصر هذا النظام على طلب التقارير والتفتيش على المفاعلات التي لا تتمدى قدراتها ١٠٠ ميجاوات حراري فقط ، الا أن هذا النظام قد طور فيا بعد ليسل جميع المفاعلات دون وضع أية حدود لأحجامها ، كذلك اتسع نظام الضان ليطبق ليس فقط على المواد والمعدات التي يتم توريدها تحت بنوده ، بل كذلك على كل المواد الانشطارية التي تنتج عن هذه المواد ، أو عن استخدام المعدات الموردة . ثم أخيراً في عام ١٩٦٥ ، امتد ليطبق كذلك على منشآت اعادة معالجة الوقود المحترق .

وبذلك تطور نظام ضانات الوكالة الدولية للطاقة الذرية حق أصبح يطبق على جميع خطوات دائرة الوقود ، فيا عدا تزويد اليورانيوم . كما أصبح قبول هذا النظام شرطاً ضرورياً تطلبه جميع الدول المصدرة لتقديم المعونة الثنائية في توريد المواد والمحدات والمنشأت النووية . وأصبح تصدير محطات القوى النووية والمحدات الأخرى من الدول المصدرة الى الدول النامية ، يقتضي ابرام اتفاقية تعاون تنص على قبول تطبيق نظام ضانات الوكالة الدولية للطاقة الذرية . هذا بالإضافة الى ما يتطلبه قانون عدم انتشار الأسلحة النووية والذي أجازته الولايات المتحدة في مارس ١٩٧٨ ، من قبول ضانات شاملة على كل الأنشطة النووية في الدولة المستوردة ، كشرط للتعاون في هذا الجال . ويشمل ذلك الأنشطة الحالية ، أو المستقبلة ، أو التي يتم انشاؤها بناء على المساعدات والتكنولوجا المقدمة من الهلايات المتحدة .

(٢) معاهدة حظر انتثار الأسلحة النووية (NPT) :

وجهت الدعوة الى الدول للتوقيع على معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية اعتباراً من أول بوليو ١٩٦٨ ، وأصبحت سارية المفعول اعتباراً من ٥ مارس سنة ١٩٧٠ ، وهذه تعتبر احدى الترتيبات الأساسية في سبيل مواجهة أخطار انتشار الأسلحة النووية ، عن طريق تحويل الأنشطة النووية السلمية الى الأغراض العسكرية .

وقد أدى نجاح مغاوضات هذه الماهدة المامة ، الى اكتساب الوكالة الدولية للطاقة الذرية لدور جديد وأكثر أهمية عما كان الوضع عليه قبل هذه الماهدة من حيث تطبيق نظام الضانات . وينص البند الثالث للمعاهدة على تطبيق نظام الضانات على كل مصادر المواد الانشطارية أو المواد الانشطارية الخاصة الداخلة في كل الأنشطة النووية السلمية للدول الأطراف في المعاهدة ، أو التي تمع تحت ولايتها أو رقابتها في أي مكان . وقد أدى ذلك الى مراجعة شاملة لنظام ضانات الوكالة خلال عام ١٩٧٠ ، بغرض تطويعه للتطبيق على الدول الأطراف في المعاهدة ، أعدت لجنة الضانات وثيقة جديدة أقرها بجلس المحافظين للوكالة في عام ١٩٧١ ، وتشتمل هذه الوثيقة على نموذج للاتفاقية التي يطلب الى الدول المحنية التناوض بشأنها مع الوكالة .

ومن العناصر الهامة في معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية، شروط البندين الرابع والخامس. وينص هذان البندان على أن تعمل الدول الأطراف في المعاهدة سواء بمفردها أو مع بعضها البعض أو مع المنظمات الدولية، على المعاهمة في استعرار تطوير تطبيقات الطاقة النووية للأغراض السلمية، وخاصة في أراضي الدول غير النووية الأطراف في المعاهدة، مع أخذ احتياجات مناطق العالم النامية في الاعتبار. كذلك ينص البند الخاس من المعاهدة على أن تتعهد الدول الأطراف باتخاذ الاجراءات المناسبة للتحقق من أن الغوائد الكامنة في التطبيقات السلمية للتفجيرات النووية، سوف تتاح للدول غير النووية الأطراف في المعاهدة دون أية تفرقة بينها، وتحت نظم ومراقبة دولية مناسبة، وعلى أن تكون تكلفة المعدات المتفجرة منخفضة بقدر

الامكان ولا تشتمل على تكاليف الأبجاث والتطوير. وجدير بالذكر أن هذه المزايا الواضحة، والتي منحتها معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية للدول غير النووية في مقابل تعهدها بالتخلي عن انتاج الأسلحة النووية، وقبولها لنظام الضانات على كل أنشطتها النووية، لم يتم تحقيقها بعد، على عكس الآمال التي علقتها الدول الأطراف على تلك الماهدة، وبكل حسن النوايا في الوعود التي قطعها على نفسها الدول النووية الأطراف التي انضمت للمعاهدة.

وعلى الرغم من كل ذلك فقد صدقت حتى الآن ١٠٦ دولة على المعاهدة من بينها ثلاثة من الدول النووية هي الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي والملكة المتحدة . كما أبرمت الوكالة الدولية للطاقة النرية ٧٥ اتفاقية للطبانات بمتضى هذه المعاهدة مع الدول غير النووية . وما زال هناك عدد آخر من الاتفاقيات في مرحلة التفاوض . وتقوم الوكالة الدولية للطاقة النرية حالياً بتطبيق نظام الضانات على نطاق واسع ، ليس فقط عن طريق الاتفاقيات مع الدول الأطراف في معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية ، بل كذلك عن طريق تطبيق نظام ضانات الوكالة ذاتها ، في اثنتي عشر دولة ليست أطرافاً في المعاهدة ، وهي الأرجنتين والبرازيل وشيلي وكولومبيا وكوريا والهند وأندونيسيا واسرائيل وباكستان وجنوب أفريقيا واسبانيا وتركيا ، وذلك في نطاق اتفاقيات التماون المبرمة بين هذه الدول والدول النووية المصدرة .

وقد مكنت معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية من وجود نظام مستقر للتعاون الدولي دون أن تمكره أية خلافات وذلك حقى عام ١٩٧٤ . وحق ذلك الوقت كان هناك شبه اجماع على امكانية التعاون الدولي نحو تطوير التكنولوجيا النووية ، للأغراض السلمية مع الاحتفاظ بخطر انتشار الأسلحة النووية محصوراً في أضيق نطاق بفضل نظام الفيانات الدولية الذي يهدف الى كشف أية مخالفة أو حيود عن تعهدات الاستخدامات السلمية للطاقة النووية وبالتالي منعها . وخلال هذه الفترة أمكن تنمية التعاون النووي الدولي بمدلات

حكمتها أساساً الاعتبارات التقنية والاقتصادية والبيئية والنجارية ، دون أية قيود ملموسة أملتها مخاوف انتشار الأسلحة النووية.

(٣) القوى النووية وانتشار الأسلحة النووية:

لقد كانت العلاقة بين تنمية القوى النووية لامداد العالم باحتياجاته الماسة من الطاقة، وما يصاحب ذلك من انتشار التقنية النووية والمواد النووية التي يمكن استخدامها لانتاج الأسلحة النووية، محوراً للجدل والمناقشة على أوسع نطاق خلال السنوات القليلة الماضية.

وقد تضمن هذا الجدل عدداً كبيراً من القضايا والماكل المعقدة ، التي سببت كثيراً من القلق بشأن مستقبل القوى النووية سواء عند معظم الدول المتقدمة صناعياً أو الدول النامية التي تحتاج احتياجاً شديداً الى القوى النووية. وقد كانت القضية الرئيسية وراء هذا القلق هو حقيقة أن كل أشكال الانشطار النووي سواء كان في مفاعل صغير للأبحاث أو في مفاعل كبير لانتاج القوى النووية ، يتضمن استخدام اليورانيوم ٢٣٥ الانشطاري وينتج البلوتونيوم ٢٣٩، وهي مادة انشطارية كذلك. وهاتان المادتان يكن استخدامهما لصناعة مفجر نووي ، تماماً كما يمكن استخدامهما لانتاج الطاقة . وجميع المفاعلات التي تستخدم سواء اليورانيوم الطبيعي أو اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة ، تنتج البلوتونيوم ٢٣٩ كناتج ثانوي ، وهذه الأنواع من المفاعلات هي التي تستخدم في كل محطات القوى الشغالة حالياً. ولا تمثل هذه المفاعلات في حد ذاتها مخاطرة كبيرة تؤدي الى حيازة الأسلحة النووية، اذ يختلط البلوتونيوم المنتج فيها داخل عناصر الوقود المستنفذ بنواتج انشطارية ذات اشعاعية عالية ويحتاج استخدام البلوتونيوم في الأسلحة النووية الى فصله من أعمدة الوقود المستنفذ. ومن هنا فان منشآت اعادة معالجة الوقود المستنفذ لفصل البلوتونيوم كيميائيا تعتبر العنصر الأساسي نحو حيازة الأسلحة النووية لأية دولة. وعلى هذا الأساس، فقد كانت احدى القضايا الأساسية في المناقشات التي تدور حول الموائمة بين الاحتياجات الى الطاقة والاقلال من أخطار انتشار الاسلحة النووية الى الحد الأدنى هي قضية اعادة معالجة الوقود المستنفذ بهدف استخلاص البلوتونيوم المنتج واليورانيوم ٢٣٥ المتبقى. ويكمن مثار الخلاف في حقيقة أن البلوتونيوم ٢٣٩ ، يمكن استخدامه لانتاج الأسلحة النووية ، وهو في نفس الوقت مصدر اضافي لانتاج الطاقة . والمعارضة التي تواجهها اعادة المعالجة تقوم على أساس أن تلك المواد الانشطارية التي يتم استخلاصها من الوقود المستنفذ عند اعادة المعالجة ، يمكن توجيهها لانتاج الأسلحة النووية ، كما يمكن أن تكون مصدر تهديد كبير اذا ما استولت عليها جاعات ارهابية أو تخريبية .

وتكمن وجهة النظر الأخرى في قضية اعادة المعالجة واستخدام البلوتونيوم التبي يتم فصله ، في تحقيق أقصى الاستفادة من مصادر الطاقة باعادة استخدام البلوتونيوم ٢٣٩ الذي يتم استخلاصهما كوقود المناعلات المرارية أو اعادة تزويد المفاعلات السريمة المتوالدة بالوقود في مستقبلا والمزايا الاقتصادية لاعادة استخدام البلوتونيوم ٢٣٩ كوقود في المفاعلات السريعة المتوالدة ، تكمن في زيادة كفاءة استخدام موارد اليورانيوم الطبيعي المتاحة والمعدودة حالياً ، اذ يمكن مضاعفة الطاقة المستخلصة من انشطار نظائر اليورانيوم الى ما يصل الى نحو ستين ضعفاً .

وفي ضوء هذه المزايا الاقتصادية الواضحة، ومع التناقص المتزايد في مصادر الطاقة التقليدية، فانه يصعب على الكثير من الدول الموافقة على تأجيل اعمال اعادة معالجة الوقود المستنفذ كوسيلة نحو تحديد أخطار انتشار الأسلحة النووية.

وتسبب مشكلة التوفيق بين احتياجات الطاقة واحتياجات منع انتشار الأسلحة النووية العديد من الصعوبات التي تقف حائلاً دون تنمية القوى النووية ونقل التكنولوجيا النووية بالقدر الملام. وقد أصبح توريد محطات التوى النووية ، ومواد وخدمات دائرة الوقود المرتبطة بها ، يخضع للعديد من الاجراءات والقيود التي تنطوي على ارتباطات سياسية وترتيبات دولية حق بالنسبة للدول التي صدقت على معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية . ومثال لذلك فان اتفاقيات التعاون التي تبرمها الولايات المتحدة الأمريكية ، وبعض الدول المصدرة الأخرى ، والخاصة بالتعاون في مجال المطاقة النووية ، تنطوي على متطلبات خاصة بالضافات الويلة المالاضافة ال النظامين الرئيسيين التأثين حالياً بشأن منع انتشار الأسلحة النووية ، وهما المعاهدة السابق الاشارة اليها ونظم الضانات المرتبطة بها ، وكذلك نظام ضانات الوكالة الدولية للطاقة الارية . وتشمل هذه الاتفاقيات على قبول مسبق لضانات شاملة على كل الأرشطة النووية الحالية والمستقبلة للدولة ، وليس فقط على المنشآت والمواد التي يتم توريدها من خلال اتفاقية التعاون المبرمة ذاتها .

ان الدراسات الدولية لتقيم دورة الوقود النووي ، والتي بدأتها الولايات المتحدة الأمريكية في أكتوبر ١٩٧٧ ، وتشارك فيها أكثر من ٦٠ دولة من الدول المتقدمة صناعياً والدول النامية ، سواء من الدول المصدرة أو المستوردة ، تتيح فرصة نادرة للمجتمع النووي العالمي للتغلب على الصعوبات القائمة حالياً ، كما يكن أن تتيح كذلك الطرق والوسائل التي تساعد على الوصول الى اتفاق دولي ، يجافظ ويساعد على سد احتياجات الدول من الطاقة النووية الى الخروية والتشار الأسلحة النووية الى الحد الأدني .

ومن خلال الدراسات الدولية لتقييم دورة الوقود النووي، تقوم حالياً ثمان مجموعات باجراء المديد من الدراسات في هذا المجال، كما تقوم لجنة التنسيق الفنية المنبئةة عن هذا النظام بمناقشة المسائل المتعلقة بدورة الوقود النووي. هذا بالاضافة الى ما تبذله المديد من الهيئات والمؤتمرات الدولية من جهود في هذا الجال. ولا شك أن كل هذه الدراسات والمناقشات والجهود سوف ترفق في ايجاد حلول للمشاكل والصعوبات القائمة بين الدول المصدرة والدول المستوردة، كما سوف تنجح في وضع استراتيجية مقبولة للتنمية النووية، تقوم على الثقة المتبادلة والتفاهم والموافقة الدولية، ويمكن أن تلقى قبول المجتمع الدولي وتحظى باجاع تأييده.

وقد يكون من الصعب التكهن بنتائج هذه المناقشات، الا أنه يكن تلخيص عدد من الموضوعات الهامة التي انبثقت عن الفيض المتدفق من الأفكار التي طرحت أثناء الدراسات والمناقشات المكثفة، والتي نوردها فيا يلى:

- أ أنه لا يمكن التحكم في انتشار الأسلحة النووية عن طريق الحد من تنمية القوى النووية ، أو عن طريق وضع القيود الفنية الأخرى ، أو عن طريق انكار أو رفض نقل التكنولوجيا النووية .
- ب ان مشكلة انتشار الأسلحة النووية هي مشكلة سياسية في المقام الأول
 وعلى ذلك فانه يجب حلها عن طريق الوسائل السياسية والترتيبات
 القانونية الملاقة.
- ج ان الترتيبات الدولية القائمة ، وهي نظام ضهانات الوكالة الدولية للطاقة
 الذرية ومعاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية ، تمثل حجر الزاوية في
 التقليل من أخطار انتشار الأسلحة النووية الى الحد الأدنى .
- د له يجب تحسين وتدعيم كل من معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية
 ونظام ضانات الوكالة حق يمكن زيادة فعاليتها وكفاءتها في الاقلال من
 انتشار الأسلحة النووية.
- هـ ان على الدول النووية أن تحترم الوعود التي ارتبطت بها في معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية قبل الدول غير النووية وان توفي بما

التزمت به من الحوافز التي وعدت باتاحتها من فوائد الاستخدامات السلمية للطاقة الذرية للدول غير النووية في مقابل قبولهم لأحكام معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية، ومنها تعهدهم بالتحلي عن انتاج الأسلحة النووية وقبول نظام الضانات.

- ان الترتيبات القانونية المقترحة بالنسبة لمنشآت دائرة الوقود، مثل المراكز المكونية من دول متصددة لمحالجية الوقود المستنفذ وتخزين البلوتونيوم، وغير ذلك من خدمات دائرة الوقود يمكن ان تتيح وسائل اضافية فعالة لتحقيق أهداف عدم انتشار الأسلحة النووية دون أن تعيق مزايا اعادة استخدام البلوتونيوم سواء في المفاعلات الحرارية أو في المفاعلات السريعة المتوالدة حالياً أو مستقبلا.
- ان مثل هذه الترتيبات القانونية من قبل دول متعددة يكن أن تتيح خدمات دورة الوقود للدول المشاركة فيها ، دون أية تفرقة ، كما يكن أن تتيح استخدام الناتج من البلوتونيوم الانشطاري عندما يصبح لهذا الاستخدام ما يورره من حيث المزايا الاقتصادية والاحتياجات الفنية .
- حـ ان دراسة الترتيبات الدولية المكنة لتداول وتخزين البلوتونيوم، تعتبر من بين الاجراءات الفعالة للحد من انتشار الأسلحة النووية كما سوف تتيح الحصول على البلوتونيوم اذا ما برزت الحاجة الى استخدامه. واذا أمكن اقامة هذا النظام فانه سوف يتيح وسائل للرقابة الدولية على البلوتونيوم الذي يتم استخلاصه ومراقبة أماكن تواجده، كما أن النواحي الختلفة المتصلة باقامة مثل هذه الخازن الدولية للبلوتونيوم هي على للدراسة والمناقشة في الوقت الحالي في الوكالة الدولية للطاقة الذرية بواسطة عدد كبير من الدول الأعضاء فيها.

(٤) حماية المواد والمعدات النووية:

أصبحت الحماية المادية للمواد والمنشآت النووية أحد الموضوعات الرئيسية التي تجذب اهتاماً عالمياً متزايداً خلال السنوات الأخيرة الماضية . وذلك للقلق المتزايد من احتالات تهديد هذه المواد أو المنشآت من الجماعات الارهابية أو التخريبية ، بهدف الاستيلاء على المواد النووية أو الانحراف باستعمال المنشآت النووية الحساسة .

وفي عام ١٩٧٢ أصدرت الوكالة الدولية للطاقة الذرية مجموعة من التوصيات التي تتصل بالاجراءات التنظيمية والفنية التي ينصح بتطبيقها للحماية المادية للمواد النووية أثناء استخدامها أو تخزينها داخل أي دولة أو أثناء نقلها علياً أو دولياً. وقد تضمنت احدى وثائق الوكالة هذه التوصيات وتم تحديثها عام ١٩٧٥، على ضوء ما تم اكتسابه من خبرة ، وما تم احرازه من المهادم في الدول الأعضاء في الوكالة ، وهذه الوثيقة رقم (225/Rev.I

وتتضمن هذه التوصيات تصنيفاً لمستويات المواد النووية لضان وكفالة علاقة ملائة بين اجراءات الحماية اللازمة والمواد المطلوب حمايتها. ويعتمد هذا التصنيف على مدى الأخطار التي تكمن في اساءة استخدام هذه المواد أو في الانحراف بها الى انتاج الأسلحة النووية. ومدى هذه الأخطار يتوقف بلا شك على كمية المادة ونوعها وتركيبها الكيميائي والفيزيائي، والمستوى الاشعاعي لها. ولا بد من الاشارة هنا الى أن هناك فروقاً قاطمة بين نظام الضمانات الذي تطبقه هيئة دولية أو دولة أخرى غير تلك التي تقع فيها المنشآت النووية الخاضعة لهذا النظام، ونظام الحماية الملادية والذي تكون فيه الدولة المعنية هي المسؤولة مسؤولية كاملة عن تطبيقه واتخاذ الاجراءات اللازمة لحماية المادد النووية داخل حدودها. الا أن هناك عدداً من الموضوعات التي تنطلب الاتفاق الدولي بشأنها حتى يمكن التنسيق بين الاجراءات التي تنظلب الاتفاق الدولي بشأنها حتى يمكن التنسيق بين الاجراءات التي

تتخذها الدول الأعضاء وخاصة أثناء النقل عبر الدول الختلقة أو النقل الدولي. وتجري في الوقت الحالي مباحثات بين الدول من خلال الوكالة الدولية للطاقة النرية، لصياغة اتفاقية دولية لتحديد الحد الأدنى من المعايير والاجراءات اللازمة للحماية المادية، وخاصة للمواد النووية أثناء النقل الدولي، ولتحديد شكل الاجراءات الدولية التي يتفق عليها، والتزامات الدول في مجال الحماية المادية.

وتنظم الوكالة الدولية للطاقة الفرية ، في اطار برنامج الماعدات الفنية مجموعة من البرامج التدريبية للأفراد من الدول الأعضاء في مجال الحماية إلمادية للمواد النووية.

وقد تم تنظيم الدورة الأولى من هذه البرامج في معامل وساندييا ، في مدينة ألباكيرك بالولايات التحدة عام ١٩٧٨. وتركز الاهتام في هذه الدورة على تصميم نظم الحماية المادية لمحطات القوى النووية من طراز الماء العادي ، وبخاصة للحماية ضد أخطار التخريب الذي قد يؤدي الى حوادث اشعاعية ، دون الاهتام بوسائل الحماية ضد سرقة المواد النووية المستخدمة والخزونة في هذه المنشآت حيث أن التهديد بسرقة هذه المواد يشكل خطورة تقل كثيراً عن خطورة تخريب المنشآت النووية .

وقد اشتملت الدورة أيضاً على تصميم وتقيم نظم الحماية المادية مع الاهتام على وجه الخصوص بالنواحي التنظيمية والأجهزة الفنية ومنهجية النظم المستخدمة. ومن المنتظر أن تنظم الوكالة الدولية للطاقة الذرية دورات أخرى في هذا الجال خلال عام ١٩٧٩. ومن المأمول أن يتم التماون بين الدول الأعضاء ويزداد تبادل المعلومات فها بينها.

(٥) المراكز الاقليمية لدورات الوقود النووية:

لقدتم نقاش واسع حول فكرة انشاء مراكز اقليمية لدورات الوقود

النووي، أو اقامة ترتيبات لهذا الغرض تشمل مجموعة من الدول وذلك في نطاق مباحثات معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية. وفي خلال الفترة من اعلام المعالمة المعالمة المعالمة المعالمة المعالمة المعالمة المعالمة المعالمة المعالمة وقامت الوكالة المعلمة للطاقة الذرية بنشر نتائج هذه الدراسة في احدى وثائقها. وقد اعتمدت هذه الدراسة الموسعة على دراسة أولية قامت بها الوكالة الدولية للطاقة الذرية عام ١٩٧٥. لتقيم المزايا الاقتصادية التي يرجى الحصول عليها من اقامة منشآت اقليمية لاعادة معالجة الوقود المستنفذ وتداول الفضلات

وقد استهدفت هذه الدراسة تحديد مناهج التنسيق والتعاون بين الدول الأعضاء لتحقيق الفائدة القصوى من استراتيجية دورة الوقود النووي، وقد غطى تقرير هذه الدراسة الأنشطة المتسعة في مجال دورة الوقود النووي، بما في ذلك نقل الوقود وتحزيفه وكذلك جميع خطوات اعادة المعالجة واعادة استخدام الوقود، بدءاً من اللحظة التي يخرج فيها الوقود الجدد في شكل عناصر الوقود والحطوات اللاحقة لذلك الى أن يصبح الوقود الجدد في شكل عناصر الوقود الملائة، ومعداً للشحن لاعادة استخدامه في المفاعل، واشتملت الدراسة كذلك على الأنشطة المتصلة بتداول الفضلات المسعة التي تتولد خلال دورة الوقود.

وقد تتبلن الدول الداخلة في مجموعة اقليمية من حيث مستويات أنشطتها النووية. ومع ذلك فأن فكرة أو مفهوم المركز الاقليمي يمكن تطويعها مجيث يصبح مثل هذا المركز صالحا لأي مجموعة من الدول الأعضاء ترغب في التعاون لاقامته، باعتباره مركزا لدول متعددة، ودون ما ضرورة لأن تكون هذه الدول منتمية لنفس الاقلم الجغرافي.

وبالرغم مما يتم من مناقشات مكثفة حول مفهوم المراكز الاقليمية من خلال «التقييم الدولي لدورة الوقود النووي » وفي غيرها من المؤتمرات والاجتماعات الدولية ، فان الوقت لم يحن بعد للتكهن بما سوف تسفر هذه المناقشات والدراسات بل انه من الصعب التكهن بما اذا كانت هذه المناقشات والدراسات سوف تسفر عن اتفاق حول الترتيبات العملية لاقامة مثل هذه المراكز.

وعلى أية حال ، فأنه يتضح من نتائج الدراسات التي أجريت حق الآن ،
ومن المناقشات التي تمت حول هذا الموضوع ، أن هناك مزايا هامة أو حوافز
اقتصادية وفنية مجزية لاقامة مثل هذه المراكز . فأن وجود واتاحة مراكز
اقليمية أو متعددة الجنسيات لدورة الوقود النووي سوف يحقق مزايا اقتصادية
كبيرة للدول المشاركة ، كما سوف يتيح في نفس الوقت ظروفاً تعد بالاقلال من
احتالات الانحراف باستخدام المواد النووية أو انتشار الأسلحة النووية . كما
سوف تتيح هذه المراكز خدمات دورة الوقود النووي ، دون تفرقة بين الدول
التي تحتاج الى استخدام البلوتونيوم الذي يتم فصله ، مع الوثوق من أن حركة
واستخدام هذا البلوتونيوم تتان في دراية من المجتمع الدولي بما يسهل مراقبتها
بمناية .

وتوجه الجهود بالاضافة الى ذلك، للوصول الى اتفاق دولي حول نظام لتداول البلوتونيوم وتخزينه. ويهدف تطوير هذا النظام الى اخضاع استخدام البلوتونيوم، أو اعادته بعد المعالجة لأية دولة، الى الرقابة الدولية ونظام الضانات، ولا شك أن الوصول الى مثل هذا النظام سوف يقلل الى الحد الأخنى من أخطار انتشار الأسلحة النووية التي قد تنشأ عن تخزين الوقود المستنفذ أو اعادة معالجته، هذا مع اتاحة البلوتونيوم، اذا لزم الأمر، لمقابلة احتياجات انتاج الطاقة.

ملحق (ب)

الآثار الصحية والأمانية والبيئية مُحطأت القوى النووية

لا شك أن استخدام القوى النووية لانتاج الكهرباء تصاحبه بعض الخاطر عدفاً على صحة الانسان وبعض الآثار على بيئته. ولقد كانت هذه الخاطر هدفاً لمبالغات كبيرة في المناقشات العامة كما استخدمت على نطاق واسع من المعارضين للقوى النووية في معارضتهم لها. ويواصل الرافضون للقوى النووية مهاجمها على انها مصدر خطر غير مقبول لانتاج الطاقة، وتنطوي على أخطار على الصحة، ومشاكل في التخلص من النفايات عالية الاشعاعية، وفي نشر تكنولوجيا يمكن استغلالها لانتاج الأسلحة النووية.

وحق يكن وضع تقييم صحيح للمخاطر التي تنطوي عليها الحطات النووية، لا بد لنا من الاختبار الدقيق للحقائق المتصلة بطبيعة وآثار الاشعاع، وكذلك للخبرات المتعلقة بتشغيل المحطات النووية، والسهات التصميمية لوسائل الأمان بها. ان مجموع صافي القدرات الكهربائية للمحطات النووية الشغالة حالياً في ٢١ دولة تزيد عن ١٠٠٠٠ ميجاوات، تستخدم فيها ٢١٥ مفاعلا قويا. ولم يؤد هذا المدد الكبير من المحطات خلال الخمسة وعشرين سنة من تاريخ تشغيل المحطات النووية، الى أي تعرض اشعاعي ذي بال للانسان أو ببئته. ويمكن القول بانه بعد ما يزيد عن ألف مفاعل ـ سنة من التشغيل في المحطات النووية، لم يصب أو يقتل انسان واحد، في أي جزء من المالم، ، نتيجة للاشماع من عمطة نووية.

(١) طبيعة الأخطار الاشعاعية:

يرتبط الاشعاع بالمحطات النووية وكذلك بمنشآت دورة الوقود النووي. والأنواع الأساسية للاشعاع ذات الأهمية من ناحية تأثيرها البيولوجي، هي جسيات ألفا، وجسيات بيتا، وأشعة جاما، والنيوترونات. وتؤثر هذه الاشعاعات على المواد البيولوجية عن طريق انتقال الطاقة بما يؤدي الى تلف النرات والجزيئات بتحطيم الرابطة الكيميائية وكذلك بالتأمين، وبالنسبة لجسيات ألفا والنيوترونات، فإن قدرتها على اختراق المواد ليست كبيرة، وتكفي الطبقات الخارجية لجلد الانسان لوقف نفاذها، أما أشعة جاما وجزيئات بيتا فإن لها قدرة نفاذ أكبر كثيراً.

والتدمير البيولوجي الناتج عن هذه الأنواع الختلفة من الاشعاع يتم قياسه عن طريق تقدير كمية الاشعاع التي تمتصها الأنسجة، ويمبر عنها بوحدة اسمها «راد» (والراد هو كمية الاشعاع التي ترسب من الطاقة مقدار ١٠٠ إرج في كل جرام من الأنسجة). وتستخدم في بعض الأحيان وحدة أخرى تسمى «رم» وذلك للتمبير عن الاختلاف في درجة امتصاص الطاقة والفعالية البيولوجية بالنسبة للأنواع الحتلفة من الاشعاع. والريم هو جرغة الاشعاع المتعرب عن جرعات التعرض الماتعير.

وتأثير «راد » واحد من أشمة بينا أو جاما له ما يعادل جرعة ١ «رم » من التأثير البيولوجي ، بينما تكون تأثير «راد » واحد من أشعة الفا معادلا لجرعة قدرها ٢٠ رم ، وبالنسبة للنيوترونات يعادل «راد » واحد جرعة تساوي ١٠ رم ، ويمكن بفحص الجرعات التي تتعرض لها مجموعات من السكان من مصادر مختلفة وخاصة العاملون في المحطات النووية ، تقييم المخاطر الاشعاعة.

ان أكبر جرعة اشعاعية يتعرض لها الانسان ما زالت تأتي من المصادر الطبيعية مثل الأشعة الكونية، وأشعة جاما الأرضية، والبوتاسيوم، والمولونيوم في أنسجة وعظام الانسان، ومنتجات الرادون المترسب في القصبة والشعب المواثية أثناء التنفس، وغير ذلك من العناصر المشعة طبيعياً في الجسم الانساني، ويصل متوسط الجرعة الكلية التي يتعرض لها الفرد من كل هذه المصادر الى حوالي ١٠٠ ملي رم في السنة، ويتعرض الانسان الى هذه الجرعة باستمرار بمعدلات صغيرة جداً.

والجرعة التي يتعرض لها الانسان من خلال تشغيل المحطات النووية ، والتي لها قيمة من حيث تقدير الأخطار الاشعاعية لهذه المحطات، هي الجرعة التي بتلقاها عدد قليل من الأفراد الذين يتعرضون للنفايات الغازية والسائلة الخارجة من هذه المحطات. وتتغير هذه الجرعة مع تصميم المحطة وظروف تشفيلها. وتدل الخبرة المكتسبة، بانه تحت ظروف التشغيل العادية سواء للمحطات النووية أو غيرها من منشآت دورة الوقود أو منشآت التخلص من النفايات المشعة، فإن الجرعة الاشعاعية التي يتعرض لها العاملون بالمحطة والجمهور تكون أقل كثيراً من حدود الجرعات المسموح بها. والجرعة القصوى المسموح بها حالياً حسب تعريف اللجنة الدولية للحماية من الاشعاع (ICRP) هي ٥ ريم في السنة للعاملين في المناطق الاشعاعية ، تنخفض الى ٥ر٠ ريم في السنة للفرد من السكان العاديين، وتشير التقديرات الى متوسط الجرعات التي قد تتلقاها مجموعات الأفراد الذين يتعرضون لنفايات برنامج متطور للقوى النووية ، مقام على أحسن الأسس التكنولوجية ، لن تزيد عن ٥ ملى ريم في السنة للفرد الواحد، وهذه التقديرات أكدتها خبرة التشغيل في عدد كبير من المحطات النووية، وهي تمثل ٥٪ فقط من الجرعة التي يتعرض لها الفرد من المصادر الطبيعية (١٠٠ ملي ريم/ السنة) والتي تشتمل على التعرض للجرعات الداخلية والخارجية. والجرعات التي يتلقاها الأفراد خلال الملاج الطبي بما في ذلك الكشف بالأشعة السينية والعلاج بالأشعة عامة. هي أعلى بكثير من جرعات البرنامج النووي السابق الاشارة اليها ، اذ تقدر فيا بين ٢٠ الى ١٠٠ ملي ريم في السنة . وهناك مصادر أخرى متنوعة للجرعات الاشعاعية هي الناتجة عن التساقط الذري ، واستخدام الأجهزة التليفزيونية ، والأجهزة الصناعية والمتزلية ، والسفر بالطيران . ومجموع الجرعة من هذه المصادر تقل كثيراً بالمقارنة مع المصادر الطبيعية . وتبين الأرقام المدونة في جدول ب ـ ١ ، المقارنة بين التعرض النسي للاشعاع من المصادر الطبيعية والمصادر المصنوعة ، ويتضح منها أن مساهمة القوى النووية تقل عن ١٪ .

(٢) تقيم الخاطر من الاشعاعات المؤينة:

م التعرف على الآثار الضارة للأسعاعات المؤينة منذ تم اكتشاف واستخدام الأشمة السينية. وقد أجريت دراسات واسعة وشاملة على هذه الآثار تضمنت تجارب على الحيونات والحالات التي تعرض فيها الانسان لجرعات متفاوتة من الاشماعات وعلى الذين نجوا من الموت من القنابل الذرية التي أسقطت على هيروشيا وناجازاكي باليابان والأثر الرئيسي غير الوراثي للاشعاعات المؤينة هو السرطان. وعادة يتأخر ظهور الاصابة بالسرطان، بمعدلات أعلى من المعتاد، لسنوات أو ربا عشرات السنين بعد حدوث التعرض للاشماع. والنوعان الرئيسيان للمخاطر المتصلة بالتعرض للاشماعات المؤينة هما الموت بالسرطان بواثن ويم التعبير عادة عن الخاطرة المطلقة بالنسبة لنوع محدد من المرطان بعدد حالات السرطان في السنة التي تظهر بين مليون من الأفراد يتمرضون لجرعة اشماعية قدرها راد واحد أو ربم واحد. ومن هذه الفئة الجموعات التي تعرضت للاشعاع والناجين من هيروشيا وناجازاكي، وبعض حالات المرضى الذين تعرضوا لهذه الجرعة أثناء الملاج بالاشعاع أو أثناء

جدول ب ـ ١: مقارنة بين التعرض الاشعاعي للانسان من المصادر الطبيعية والمصنوعة

النسبة المئوية من الجرعة الكلية	_	مصدر الاشماع
		مصادر طبيعية:
44	٤٥	الأشعة الكونية
	١٥	التربة
**	10	مواد البناء (الطوب والخرسانة)
17	40	الماء ، الطعام ، الهواء
٧٩	14.	مجموع المصادر الطبيعية
		مصادر مصنوعة
١٣	۲.	طبية (الكشف بالأشعة السينية)
£ر۲	í	التساقط الذري
£ر۲	£	السفر بالجو (رحلة من لندن الى
		نيويورك وعودة)
٦٦٣	٦	التليفزيون الملون (ثلاث ساعات يومياً)
٦ر٠	1	قرب محطة نووية
71	٣٥	مجموع المصادر المصنوعة
١	170	المجموع الكلي

العمل بالجالات الاشعاعية، ويبين الجدول رقم ب ـ ٢ النتائج التي حصلت عليها اللجنة الاستشارية للآثار البيولوجية للاشعاعات المؤينة (BEIR) بالنسبة لتقييم الخاطر الطلقة، الأنواع المختلفة من السرطان، وبناء على هذه البيانات تم تقدير عدد الوفيات في العام ممن يتعرضون تعرضاً مستمراً للاشعاعات المؤينة بمدل ١ رم في السنة، ويصل هذه العدد الى ١٥٠ في المليون بحداً على لا يزيد في الغالب عن ٢٠٠ في المليون.

جدول ب - ٣: تقدير الخاطر المطلقة لسرطان الدم وغيره من أنواع السرطان عند الأعمار الختلفة (مقدرة بعدد الوفيات في المليون في السنة للتعرض من واحد رع، وتقدير الخاطرة محسوب على مدى الحياة بعد مرور الفترة الكامنة)

الخاطرة الكلية	نوع السرطان	مجموعة السن	
۰ر۲	سرطان الدم	۰ ـ ۹ سنوات	
۰ر۱	جميع أنواع السرطانالأخرى	1	
۱٫۰	سرطان الدم	- فوق ۱۰	
٥ر١	سرطان الثدي	مفوق ۱۰	
۳ر۱	سرطان الرئة	.فوق ۱۰	
۰ر۱	سرطان الامعاء والمعدة	فوق ۱۰	
۲ر٠	سرطان العظام	فوق ۱۰	
۰ر۱	جميع أنواع السرطان الأخرى	فوق ۱۰	
٣	الجموع لجموعات السن من • ـ ٩ الجموع لجموعات السن فوق • ١		
7			

ومخاطر الوفاة بالسرطان بين من يتعرضون تعرضاً مستمراً للجرعات الناتجة عن النفايات السائلة والغازية من المحطات النووية، وفي المراحل المختلفة لدورة الوقود النووي، تعادل حالة واحدة في المليون في السنة من وفيات السرطان حتى في حالة اعتبار أن الحد الأعلى هو ٢٠٠ وفاة بالسرطان لكل مليون ولكل رم في السنة.

وهذه الحالة الاضافية الناتجة عن القوى النووية ، ليست لها أي معنى الصائي في ضوء احصائيات الوفيات بالسرطان التلقائي والتي تصل من ١٠٠٠ الى حداث والتي تصل من ٢٠٠٠ حالة في السنة لكل مليون ، وذلك عن تقديرات من مختلف أنحاء العامل . بالاضافة الى ذلك فان البيانات المتاحة عن الدراسات الواسعة والشاملة عن تقييم الخاطر ، والتي أجريت للمقارنة بين اخطار عطات القوى النووية تبين أن التلوث الكيميائي والناشىء عن نواتج احتراق الفحم ، بما في ذلك استنشاق البنزو (أ) بسيرين ، وهو من المواد المسببة للسرطسان ، يؤدي في التجمعات السكانية بالمدن الى مخاطر تقرب من مائة ضعف الأخطار الناجمة عن التحرض الاشعاعي من برنامج نووي كبير . وتبين التحاليل التي أجريت على أخطار العمل في دورة الوقود النووي ، أن الخاطرة الكلية تعتبر صغيرة على أخطار العمل في دورة الوقود النووي ، أن الخاطرة الكلية تعتبر صغيرة جداً اذا ما قورنت بالخاطر المرتبطة بانتاج القوى من محطات الوقود

وفي ضوء ما سبق يمكن الاستنتاج بانه في ظروف التشغيل العادية للمحطات النووية وغيرها من المنشآت النووية. ليس من المحتمل أن تسبب الجرعات الفشئيلة من الاشعاعات المؤينة أية أنواع جديدة من الأضرار ، حيث أن الانسان كان داعاً وما زال يتعرض وبصفة مستمرة لجرعات كبيرة الى حد ما من الاشعاع الطبيعي.

ويعزى ذلك. بالطبع الى اجراءات الوقاية من الاشعاعات المؤينة والتي

يؤخذ في الاعتبار عند تصميم المحطات النووية. هذا بالاضافة الى الدرجة العالية من مواصفات الأمان الهندسية المتبعة في هذه المحطات وكذلك الاختيار المناسب لمواقعها. وينعكس كل ذلك في الحدود الصارمة للحد الأقصى من جرعات التعرض الاشعاعي المسموح بها والتي أقرتها اللجنة الدولية للوقاية الاشعاعية(ICRP) وهي 0 رم في السنة.

(٣) أمان المحطات النووية:

يتضمن تصمم المحطات النووية عدداً كبيراً من خصائص الأمان وأنظمته والتي لا يكاد يكون لها نظير في أية منشآت صناعية أخرى، وينبع هذا الادراك بأهمية الأمان في تصميم وتشغيل وصيانة المحطات النووية الى حد كبير من الرغبة المهيمنة لتأمين العاملين بالمحطات النووية ، وللسكان القاطنين في جوار المحطة وللبيئة عامة وذلك طوال عمر المحطة. وتحت هذه الظروف فان احمال حادثة خطيرة يصبح ضئيلا للغاية ، بل قد يقل كثيراً عن احمال المخاطر التي تتعرض لها الجماهير من كثير من الأنشطة الصناعية الأخرى. ان أهمة أنظمة الأمان ودرجة الوثوق في التصميات الحديثة للمحطات النووية قد أصبحت من الأمور المعترف بها والتي ينظر اليها بدرجة كبيرة من الثقة فان تصميم أوعية الأمان التي تتحمل الضغوط الداخلية العالية والتي تمنع تسرب المواد المشعة الى الجو المحيط في حالة الحوادث هو أحد ملامح الأمان الكثيرة والمعقدة في المحطات النووية ، التي تشمل كذلك أنظمة ايقاف المفاعل في حالات الطوارئ أو التشغيل الخاطئ ، وغير ذلك من الأنظمة مثل أنظمة تبريد قلب المفاعل، وامداده بالقدرة في حالات الطوارئ . وهناك تحسن ملحوظ ومستمر في تصميات كل أنظمة المفاعلات والتي تشمل وفرة متزايدة وتنوعاً في استخدام الأنظمة الميكانيكية المختلفة ونظم القياس المتعددة التي تستخدم مكونات مختلفة للاقلال من احتالات الأخطاء الى الحد الأدنى. ومنذ الأيام الأولى في تنمية القوى النووية ، كان موضوع احتال حادثة كبرى في محطة القوى النووية من الموضوعات التي درست بنتهى الاهتام والجدية وقد أجريت العديد من الدراسات الواسعة والشاملة لما يسمى «الحادثة القصوى المعقولة ، والتي تفترض أخطر النتائج التي تنشأ عن حادثة فقدان المبرد وانصهار قلب المفاعل. وتعرض الدراسة المعروفة باسم «تقرير راسموسين » (WASH-1400) والتي تناولت أمان المفاعلات ، ونشرتها لجنة الولايات المتحدة للتنظيات النووية في أكتوبر ١٩٧٥ ، تقيياً شاملا لعواقب حوادث المفاعلات .

وفي هذا التقرير ، يقدر احتال مثل هذه الحادثة (الحادثة القصوي) المعقولة بحوالي ٥ × ١٠ - ١ للمفاعل في السنة. ويعني هذا أن أحتال حدوث مثل هذه الحادثة خلال هذا القرن، بافتراض أن هناك خسة آلاف مفاعل سنة من تشغيل المحطات النووية ، لن يزيد عن بضعة أجزاء من الالف الواحد في المائة. ويعطى التقرير كذلك تحاليل تفصيلية عن العواقب الختلفة والمحتملة على الصحة وعلى الممتلكات وأخطر العواقب المشار اليها قد تؤدى الى وفاة ما بين ثلاثة الى أربعة الاف فرد خلال أسابيع قليلة ، كما تؤدى الى وفيات بالسرطان خلال ثلاثين سنة يقدر ببضعة عشرات الآلاف من الحالات وعدد مقارن من التأثيرات الوراثية الخطيرة في الأجيال المتعاقبة بالإضافة الى خسائر في الممتلكات تصل الى ١٤ بليون دولار وعلى رغم ان عواقب مثل هذه الحادثة الخطيرة هي عواقب كبيرة جداً الا انها قد لا تكون أكثر من عواقب الكوارث الطبيعية الكبرى. وعلى سبيل المقارنة واجهت الولايات المتحدة خلال هذا القرن اعصارين زادت خسائر كل منهما عن ألف قتيل، وأعاصير أخرى تسببت في اضرار مادية تقدر ببلايين الدولارات وهناك غير ذلك من الكوارث الطبيعية المشابهة والتي وقعت في أجزاء أخرى كثيرة من المعمورة مثل الزلازل والبراكن والفياضانات. وبالنظر الى المواقب الخطيرة الكامنة في الحادثة النووية القصوى فانه
تبذل جهود مستمرة وكبيرة لتحسين أمان المفاعلات، وقد أظهرت الحادثة
المشؤومة التي وقعت في محطة هاريسبرج النووية في بنسلفانيا بالولايات المتحدة
الأمريكية أن عواقب الحادثة، رغم خطورتها قد أمكن التحكم فيها دون آثار
ضارة على الانسان أو البيئة. ولا شك أن المعلومات الناجة عن هذه الحادثة،
وتحليل البيانات الخاصة بها، سوف تلقي الضوء على أبعاد متعددة للأمان
النووي بما يقلل من اللايقينية في هذا الجال الهام والحيوي من مجالات تنمية
القوى النووية.

(٤) الآثار البيئية للقوى النووية:

ان لتوليد الكهرباء سواء من المحطات النووية أو محطات الوقود العادي ، الآرابيئية على الهواء والأرض والماء والمناخ الجوي ، حتى مع الالتزام بكل معايير الاداء القباسية . ومن أهم أهداف التصبيم للمحطات النووية ، وغيرها من المشتآت النووية الاقلال الى الحد الأدنى الآثار المحتملة والختلفة لانطلاق الاشعاع من هذه المحطات على البيئة المحيطة بها . وتشتمل المصادر المحتملة لاطلاق النفايات الى البيئة المحيطة بها . وتشتمل المحطات النووية ، على وجه المخصوص على الغارات أو السوائل المشعة ، والحرارة المنبعثة من عادم البخار والنفايات الكيميائية من أنظمة المحطة المختلفة . ويخضع اطلاق النفايات من المحطات النووية لرقابة صارمة سواء من ناحية معالجة الفازات أو السوائل المشعة أو الرصد المستمر لاشعاعتيها قبل اطلاقها الى البيئة المحيطة للتأكد من عادم ألمسموح بها .

وسوف نناقش فيا يلي المصادر المحتملة الرئيسية ذات الآثار البيئية، والتي تتضمن الآتى: _

أ .. اطلاق النفايات المشعة:

ان تشغيل المحطات النووية ينطوي على انتاج مواد مشعة، والمسدر الأساسي للاشعاعية هو عملية الانشطار النووي في الوقود. وتتكون نواتج الانشطار من نويات مشعة قميرة العمر وطويلة العمر. وتبقى هذه النويات في ظروف التشغيل العادية في داخل أعمدة الوقود النووي ولا يتم اطلاقها من محطات القوى النووية. وتتوقف كمية نواتج الانشطار المشعة في عناصر وقود المفاعل على الزمن الكلي لتشعيع الوقود (احتراق الوقود) وعلى مستوى القدرة عند التشغيل وعلى الانحلال الاشعاعي. وعادة ما تطلق نسبة صغيرة جداً من نواتج الانشطار النووي، وآثارها البيئية غير ذات قيمة.

والمصدر الثاني للاشعاعية يكمن في نواتج التآكل لمواد بناء المفاعل وللشوائب في مواد التبريد والتي تتحول الى مواد اشعاعية أثر امتصاصها للنيوترونات. وكمية المواد المشعة التي تتكون من النظائر الاشعاعية لبمض بالقياس الى نواتج الانشطار النووي وهي تتكون من النظائر الاشعاعية لبمض العناصر مثل الحديد والكوبالت والمنجنيز. هذا بالاضافة الى أن امتصاص الدوون للنيوترونات، وهو عنصر شائع الاستخدام للتحكم في عملية الانشطار النووي، وكذلك امتصاص الديوتيريوم الموجود في مياه التبريد للنيوترونات يؤدي الى تكون مادة التريتيروم، وهو نظير طويل العمر للهيدروجين وعلى درجة عالية من السمية، كما تتكون في المفاعلات المبردة بالفاز نظائر مشعة للكربون والأرجون. والخبرة الكبيرة المكتسبة من تشفيل المحطات النووية، ومن تصميع وتشغيل أنظمة تداول المغلفات المشعة الدائلة على الأغلب من تفاعل النيوترونات مع مياه التبريد ونواتج التأكل والاضافات الكيميائية من تفاعل النيوترونات مع مياه التبريد ونواتج التأكل والاضافات الكيميائية من تفاعل النوقرونات عو مياه التبريد ونواتج التأكل والاضافات الكيميائية نواتج الانشطار النووي في مبرد المفاعل وفي خزانات حفظ الوقود المحترق نواتج الانشطار النووي في مبرد المفاعل وفي خزانات حفظ الوقود المحترق

وأحياناً للاخفاق في بعض أغلفة عناصر الوقود. وتنتج بعض المصادر الأخرى للمخلفات السائلة عن بعض الأنظمة الاضافية للمفاعل مثل المياه الناتجة عن بالوعات الأرضيات والمعامل والفسالات وازالة تلوث المعدات.

وجميع أنواع المخلفات السائلة يتم تجميعها في خزانات خاصة ومعالجتها المعالجة التي تتلائم مع تركيبها الكيميائي ونوع النويات المشعة فيها ومستوى اشعاعيتها ، وذلك بنظم معالجة النفايات عن طريق التبخير أو عمليات التبادل الأيهن .

ويتم طرد الخلفات السائلة بعد ازالة تلوثها وترشيحها ثم تخفيفها بمياه تبريد المكتفات وذلك بعد التأكد من أن اشعاعيتها تقل عن المستويات المسعوح بها تبعاً لوصية اللجنة الدولية للحماية الاشعاعية. أما الخلفات الغازية فقد تحتوي على أنواع مختلفة من الغازات المشمة التي تتوقف على نوع المفاعل مشل الأرجون ٤١، والكريبتون ٨٥، والزينون ١٣٣، والا يوضى ١٢٩ ، والايودين ١٣٣، والكربون ١٤٠ وهذه الخلفات تمر خلال أنظمة معالجة الخلفات الفازية والتي تزيل النويات المشعة بطريق الامتصاص في مرشحات من الفحم.

وبالنسبة للغازات النادرة فيتم امرارها خلال خطوط تأخير أو حفظها في خزانات خاصة ولا يتم اطلاقها الى الجو الا بعد فترة زمنية قد تطول الى خمين يوماً ، أو بعد تمريرها على فحم منشط عند درجات حرارة شديدة الانخفاض. وفي جميع الحالات تكون القيم الاشماعية المسجلة للغازات التي يتم اطلاقها أقل كثيراً من المستويات المسموح بها من اللجنة الدولية للحصاية الاشماعية . والجرعات الاشماعية في النطاق الجاور لمواقع المحطات النووية لا تزيد عادة عن ١ الى ٥ ملي ريم في السنة . والظروف السابق الاشارة اليها والتي تمثل آثاراً غير ملموسة على البيئة هي الظروف السائدة في أحوال التشفيل العادي غير ملموسة على البيئة هي الظروف السائدة في أحوال التشفيل العادي للمحطات النووية . وقد تم تقييم المواقب المحتملة للحوادث الافتراضية التي يترتب عنها اطلاق المواد المشعة خارج نطاق موقع المحطة . وحدوث مثل هذه يترتب عنها اطلاق المواد المشعة خارج نطاق موقع المحطة . وحدوث مثل هذه

الحوادث التي تؤدي الى آثار اشعاعية ملموسة خارج موقع المحطة تتطلب احداثاً غير عادية يرتبط حدوثها مع اخفاق الأنظمة المتعددة لحماية الأمان. ولكن ترتيبات الطوارئ معدة داغاً لمواجهة مثل هذه المواقف التي لا مجتمل حدوثها مثل أسوأ حادثة محكنة للمفاعل. والاجراءات الأساسية الواجب اتخذها في هذه الحالات تتضمن المسح الاشماعي السريع، واعطاء التعليات والتحذيرات اللازمة، ووضع القيود على انتقال الجماهير وعلى استهلاك منتجات الألبان والمياه من المناطق الملوثة.

ب ـ صرف الناتج الحراري:

تستخدم المحطات النووية ، مثلها في ذلك مثل المحطات التقليدية كميات كبيرة من مياه التبريد للمكتفات وفي المتوسط تستخدم المحطة النووية ، ٥ لتراً من الماء في الثانية لكل ميجاوات ، ونتيجة لانتقال الحرارة من البخار المستنفذ الى مياه التبريد ترتفع درجة الحرارة بمقدار من ٥ الى ١٥ درجة مئوية تحت ظروف الحمل الكلي للمحطة .

ويؤدي تصريف الحرارة من مياه تبريد الكثفات الى مصدر التبريد (النهر أو البحر، أو البحر) الى ارتفاع في درجة حرارة هذا المصدر تنتج عنه آثار بيئية بيولوجية مختلفة على الحياة المائية. ويؤخذ في الاعتبار عند أنظمة تبريد المحطة النووية، احتياجات كفاءة المحطة وجيّعه الأحياء المائية في مصدر مياه التبريد، حيث قد تؤثر درجات الحرارة غير الملائمة على تكاثر وغو وحياة الأنواع البيولوجية المائية الختلفة لذلك لا بد من التحكم في صرف الناتج الحراري الى مصادر المياه ولا يجب أن تتعدى درجات الحرارة تلك التي تقررها السلطات المعينة الختصة حق يمكن تفادي الأضرار التي قد تحقق تراكياة المائية في مصدر المياه المستخدم لتبريد المحطة.

ج - صرف النواتج الكيميائية:

تستخدم مواد كيميائية متعددة في الأجزاء الختلفة للمحطة النووية ، والتي يم صرفها من نظام تبريد المكثف ، ونظام معالجة الخلفات ونظام اعادة معالجة الحلفات ونظام اعادة معالجة المباه ، ومن مصارف غسالات الملابس والجاري الصحية . فعلى سبيل المثال قد يضاف الكلور لازالة تراكم المواد العضوية داخل المكثفات وقد تستخدم مركبات الفوسفور والزنك لكبح التأكل ، وحامض الكبريتيك لضبط قاعدية مياه التبريد الدائرة ، كما يمكن اعادة توليد نظام ازالة المعادن بصفة دورية باستخدام حامض الكبريتيك أو الفوسفات .

وتقيم الآثار المحتملة لهذه الكيميائيات على الصرف الصحي في قنوات الصرف ، عبب أن يتم بمناية شديدة في المراحل المتقدمة من التخطيط. وتركيز مصادر صرف النواتج الكيميائية قد يؤدي الى آثار ضارة أو سامة على الحياة المائية. وعلى ذلك يجب وضع حدود تركيز هذه المواد بما يتفق مع معايير نقاوة المائد التعارف علمها.

هـ تقبل الرأي العام:

من أهم القضايا التي تؤثر على التنمية المستقبلية للقوى النووية هي القلق المتزايد من الخاطر المتصلة باستخدام القوى النووية لانتاج الطاقة. ومقاومة الرأي العام لا تقوم على النفهم العميق للأسس العلمية والتكنولوجية ، ولا على حقائق احتياجاتنا للطاقة والبدائل المتاحة لمقابلة هذه الاحتياجات المتزايدة والملحة ، بل تستغل الاثارة العاطفية على نطاق واسع لتوجيه الرأي العام لمقاومة هذا المصدر الحيوي والضروري للطاقة. وقد تطورت معارضة القوى النووية الى الحد الذي أصبحت معه تؤثر على القرارات السياسية والحكومية ، بل انها نجحت في النسا في ايقاف محطة نووية كبيرة ، تم الانتهاء من انشائها وأصبحت معدة للتشغيل . وبعد أن أنفق عليها استثارات تصل الى بليون من

الدولارات. وتهاجم مشمروعات القوى النووية في الولايات المتحدة، وسويسرا والسويد وغيرها من البلاد، وتنظم مظاهرات معادية لها، ويدعى الى استفتاءات عامة لاتخاذ قرارات بشأنها.

ولا شك أن قبول الرأي العام ضروري لبقاء أية صناعة وتنميتها . وفي ضوء ذلك فانه قد أصبح من اللازم الآن ، وأكثر من أي وقت مضى ، ايصال الحقائق الى الجماهير . وهناك حاجة لأن تقوم الجتمعات النووية ، والحكومات الممنية ، والوكالة الدولية للطاقة الذرية ، باتخاذ الاجراءات والعمل على توضيح كثير من الأسئلة التي تثار في مناقشات الرأي العام ، واعداد الردود الواضحة والمحددة على التساؤلات بشأن مخاطر الاشماع وآثار المحطات النووية على البيئة ، ومشاكل التخلص من النفايات المشعة . وكيف تتم معالجة هذه المسائل في المحطات النووية وفي غيرها من المنشآت النووية .

ان الخاطر والمنافع المتصلة باستخدام الطاقة الذرية وتكاليف استخدامها والفوائد المنتظر تحقيقها من الستخدامها لسد الاحتياجات المقبلة من الطاقة ، يجب أن تناقش بكل الوضوح حق يكن للجماهير أن تشارك في مسؤولية اتخاذ القرار وفي تحمل المسؤولية الناجة عنه .

وفي هذا الصدد لا بد من تأسيس نظام للاعلام وللاستملامات، ويجب تنظيم المناقشات العامة بين الخبراء على أعلى المستويات وقطاعات الشعب المختلفة وذلك حتى يمكن اثارة ومناقشة وتوضيح المسائل والمشاكل المختلفة.

ومن المأمول أن تتم مشاركة قطاعات الرأي العام الختلفة على نطاق واسع في مناقشة هذا الموضوع ذي الصيغة التكنولوجية البالغة التعقيد، فهذه المشاركة الواسعة سوف تكون لها آثار غاية في الأهمية على المجتمع وعلى مستقبل المدنية الحديثة.

ملحق (ج)

الاستخدامات البديلة للطاقة النووية

مقدمة:

في خلال الخسة والعشرين سنة الأخيرة، تم استخدام وتطوير الطاقة النووية أساساً لانتاج الكهرباء، وأحرز في ذلك تقدم ملموس في انشاء وتشفيل عدد كبير من المحطات النووية تسهم بنصيب طيب في سد احتياجات الطاقة في كثير من الدول المتقدمة صناعياً والدول النامية في أنحاء العالم المختلة، ومع ذلك فانه يوجد عدد من التطبيقات الأخرى الممكنة للقوى النووية في مجالات استخدام الطاقة عند درجات الحرارة المنخفضة أو في تسيير البواخر عند درجات الحرارة المنخفضة من المحطات النووية وحيدة الغرض (حرارة فقط) أو مزدوجة الغرض (حرارة وكهرباء)، في مجالات انتاج الحرارة أو انتاج الماء المنفذة بن المحطات النوم من دراسات الجدوى الاقتصادية والفنية الشاملة التي أجريت لبعض المشروعات المحددة لازالة الملوحة أو لانتاج الحرارة، الا انه لم يتم تنفيذ سوى عدد قليل من هذه المسروعات. ويعني هذا الملحق بعرض لما تم في مجالات استخدام الطاقة النووية المبروعات. ويعني هذا الملحق بعرض لما تم في مجالات استخدام الطاقة النووية والمبدئل السابق الاشارة اليها.

١ ـ انتاج الماء العذب باستخدام الطاقة النووية في ازالة الملوحة:
 يؤدى النقص في موارد المياه العذبة من المصادر الطبيعية الى قيام

صعوبات متزايدة لمواجهة احتياجات المناطق الجافة والمدن في مناطق عديدة من العالم. وازالة ملوحة مياه البحر هي البديل الوحيد الذي ثبتت جدواه الفنية والذي يغني عن نقل المياه العذبة من مصادرها الطبيعية البعيدة. وتصل سعة محطات ازالة الملوحة في الوقت الحالي، والتي تستخدم الوقود التقليدي، وخاصة البترول، الى حوالي ٢٦١ مليون متر مكمب يومياً، وسوف تتضاعف هذه السعة بالانتهاء من مشروع ازالة الملوحة الذي تجري اقامته في المملكة العربية السعودية.

ومنذ الستينات ، بدأ التفكير في استخدام الطاقة النووية ، كبديل جذاب يكن أن يحل محل البترول في ازالة الملوحة . الأ أن انخفاض سعر البترول في ذلك الوقت جعل من الصعب تحقيق المنافسة الاقتصادية . وأظهرت الدراسات الشاملة التي أجريت في هذا الصدد لعدد من المشروعات ، ان تكلفة المياء المنتجة من المحلات النووية شديدة الارتفاع بالنسبة للتطبيقات الزراعية وان كان من الممكن قبولها لبعض الأغراض الخاصة في المواقع النائية ، وبناء على ذلك لم يتم تنفيذ محطات نووية لازالة الملوحة فيا عدا محطة البخار من محطة مزدوجة الغرض تقوم على السوفييقي ، وتستخدم هذه المحطة البخار من محطة مزدوجة الغرض تقوم على مفاعل سريع متوالد ، وتنتج ١٩٠٠ متر مكعب من الماء المزال ملوحته يومياً ، كما تنتج 100 مبجاوات من القدرة الكهربائية .

الا انه بالنسبة للمستويات الحالية لأسمار البترول، والتي وصلت الى حوالي ستة أضعاف ما كانت عليه عام ١٩٦٠، فقد تصبح ازالة الملوحة بالطروية أكثر قدرة على المنافسة الاقتصادية. وعند التطبيق في محطات ازالة الملوحة، يتم استخلاص الطاقة الحرارية الناتجة في المفاعل، عند درجة حرارة منخفضة مناسبة وضغط منخفض بما يتفق مع احتياجات تشغيل محطة ازالة الملوحة بطريقة التقطير. وعلى الرغم من أن استخدام المفاعلات النووية يصلح

لأعمال ازالة الملوحة من محطات وحيدة الغرض تنتج الحرارة فقط، الا أن معظم المشروعات التي تمت دراستها كانت من نوع المحطات المزدوجة الغرض والتي تنتج الكهرباء وتستخدم حرارة العادم لانتاج الماء العذب عن طريق التقطير في محطة ازالة ملوحة ذات مراحل متعددة من المبخرات الوميضية. وبالاضافة الى المزايا الاقتصادية لمثل هذه المحطات مزدوجة الغرض مقارنة بالمحطات وحيدة الغرض فانه يكن فيها تغيير نسبة انتاج الماء الى انتاج الكهرباء ، بحيث تتغير سعة انتاج الماء بما يتفق مع الاحتياجات ومع الاستفادة بالطاقة المتبقية لانتاج الكهرباء ونظراً لأن البخار المستخدم لازالة الملوحة، في المحطة المزدوجة الغرض ، يتم استنزاف من نقطة مختارة في التربينة البخارية، ويكن تغيير نسبة المياه الى القدرة عن طريق اختيار النقطة المناسبة لاستنزاف البخار والتي يتحدد معها ضغط ودرجة حرارة البخار. وتتغير نسبة الخفض في القدرة الكهربائية ، الناتجة عن تشغيل المحطة للأغراض المزدوجة ، من ١٠ الى ٥٠٪ حسب احتياجات انتاج المياه وعلى سبيل المثال نورد هنا مشروع المحطة المزدوجة الغرض التي اقترحت خلال عام ١٩٦٤ لاقامتها في مصر، بقدرة ١٥٠ ميجاوات كهربائي وملحق بها محطة لازالة ملوحة مياه البحر بسعة ٢٠٠٠٠ متر مكعب يومياً ، وقد كان الخفض في القدرة نتيجة لتشغيل محطة ازالة الملوحة بقدرتها القصوى، يتراوح من ١٠ الى ١٢ ميجاوات كهربائي.

ومن مشاكل استخدام محطات وحيدة الفرض لانتاج المياه العذبة هو السعة القصوى لمحطات ازالة الملوحة المتاحة انتاجها حالياً، والتي تصل الى ٤٠٠٠٠ متر مكسب يومياً. وتتطلب هذه السعة مفاعلاً صغيراً بقدرة حوالي ١٣٠ ميجاوات حراري. ولا بد من امكان تطوير نقل هذا المفاعل من الناحيتين الفنية والاقتصادية وبحيث يحتوي على ملامح تصميمية تتلائم مع درجات الحرارة والضغوط المنخفضة اللازمة لاحتياجات محطات ازالة الملوحة.

وتواجه محاولة تقييم تكلفة انتاج المياه من المحطات النووية عديداً من الصعوبات فغي المحطات المزدوجة الغرض يصبح توزيع التكلفة بين منتجين أو أكثر عملية تدخل فيها عوامل وفروض اختيارية، هذا من ناحية، ومن ناحية أخرى فانه بالنظر الى الفترة الحالية من التضخم في أسعار المواد الخام والمنتجات الصناعية، فسرعان ما يصبح أي تقدير لتكلفة المياه المنتجة غير وتعير ويقدر سعر البخار من محطة نووية مزدوجة الغرض من نوع الماء المضغوط بحوالي ١٩٧١ دولار لكل ١٦٠ كيلو جول، وسعر المياه العندبة المناظر بحوالي ١٩٧٨ دولار للمتر المكعب. ولمحطة وحيدة الغرض بقدرة ٣٣٣ ميجاوات حراري تصبح التكلفة أكثر ارتفاعاً، وتقدر بحوالي ٢٨٥٤ دولار للمتر المكعب من المياه المذنة.

ولقد تم اجراء عدد من دراسات ازالة الملوحة خلال الستينات اشتملت على ما يسمى بالمجمعات الزراعية الصناعية الكبيرة، والتي تتضمن وحدات نووية كبيرة لانتاج الكهرباء للمنشآت الصناعية وكذلك انتاج المياه العذبة للتنميسة الزراعيسة، ورغم دراسات الجدون الشاملسة ودراسات التقيسيم الاقتصادي التي أجريت لبعض مشروعات هذه المجمعات في المكسيك والهند ومصر والشرق الأوسط، الا أن الاهتام بازالة الملوحة بالطاقة النووية قد تضاءل الى حد كبير خلال السنوات الأخيرة الماضية.

٢ ـ الانتاج النووي للطاقة الحرارية:

ان امكانية تطبيقات القوى النووية في انتاج الطاقة الحرارية باستخدام الحرارة التي تطردها محطات القوى النووية عند درجات الحرارة المناسبة للاستخدام في التدفئة، أو باستخدام مفاعلات صغيرة مبسطة منخفضة الحرارة لانتاج الطاقة الحرارية فقط، قد تم أخذها في الاعتبار منذ السنوات الأولى

من تطوير المفاعلات النووية ومحطات القوى النووية. وقد كان ذلك بقصد زيادة الاستفادة من الطاقة المنتجة ولتحسين كفاءة تحويل الوقود، خاصة وان احتالات السوق، بالنسبة للطاقة الحرارية ذات الحرارة المنخفضة الناتجة عن المفاعلات النووية تبدو مناسبة، حيث تصل نسبة الطاقة المستخدمة في هذه الأغراض الى الطاقة الكلية في معظم الدول الصناعية من ٣٠ الى ٣٠٪.

ورغم الدراسات المديدة التي أجريت في كثير من البلدان حول مشروعات تستهدف هذا النوع من التطبيقات للطاقة النووية ، الا أن الاستفادة العلمية منها لم تتحقق الا في مشروع واحد للتدفئة في السويد. وقد أثبتت تجربة هذا المشروع السويدي نجاح تطبيقات الطاقة النووية في المتدفئة. وكان ذلك باستخدام مفاعل الماء الثقيل «اجستا » الذي بدأ تشغيله عام ١٩٦٤ . وخلال السنوات العشر التالية استمر هذا المفاعل في مد شبكة الكهرباء بقدرة ١٠ مبجاوات وعا يعادل ٧٠ ميجاوات من الحرارة الى ضاحية « فارستا » في استوكهولم باعتادية ذات سجل جيد وحتى الآن لم تتكرر هذه التجربة في أي مكان آخر في العالم. وتستخدم السويد أنظمة تدفئة الأحياء على نطاق واسع في حوالي ٥٠ مدينة باستخدام الماء الساخن عند درجة حرارة تغذية قدرها ٩١٢٠م تنخفض في العودة الى ٦٠٥م في أبرد أيام الشتاء بالنسبة للدائرة الأولية ، والتي تغذيها غلايات تستخدم البترول أو تستخدم الحرارة المطرودة عن محطات القوى التقليدية. وبالنظر الى هذا الحجم الكبير من الطلب على أنظمة تدفئة الأحياء، وفي ضوء الزيادة المستمرة في أسعار البترول خلال السنوات الأخيرة ، فإن الطاقة النووية يمكن أن تسهم في خفض استهلاك وقود البترول ، وان تؤدي الى تأمن الاحتياجات المنتقبلية من موارد الطاقة بتوفير بديل للبترول كمصدر للتدفئة في حالة نقص الموارد البترولية ، وهو ما أصبح متوقعاً بين وقت لآخر .

لهذا السبب بدأت دراسة عدد من مشروعات الأنظمة النووية لتدفئة

الأحياء في السويد. منها على سبيل المثال مشروع تجري دراسته لجنوب السويد يستهدف توفير الحمل الحراري الأساسي لأربعة مدن ، وذلك باضافة وحدة ثالثة لمحطة «بارسباك » للقوى النووية ، وهي محطة نووية من وحدتين ، وهناك مشروعات أخرى يتم دراستها لمنطقة استوكهولم الكبرى . الا أن الصعوبات تكمن في اختيار الأماكن الملائة لاقامة المحطات النووية ، والتي قد تقتضي نقل الحرارة عبر مسافات طويلة وهو أمر غير اقتصادي ، ويتم كذلك دراسة مشروع وحدات كبيرة بعضها يعمل حالياً وبعضها ما زال تحت الانشاء . وتجري أعمال المبحوث والتطوير في مركز «ستودزفيك » للبحوث لدراسة واختيار أنواع جديدة من الأنابيب المقارنة للتأكل لاستخدامها في نقل الحرارة من المحطة الاستغناء عن احاطة الأنابيب بالأغلقة الخرسانية التي تحميها من المياه الأرضية ، وذلك خفضاً للتكاليف . ويتم اختيار أنابيب من الحراسة سابقة الأرضية ، وذلك خفضاً للتكاليف . ويتم اختيار أنابيب من الحراساة سابقة الأجهاد وكذلك أنواع متعددة من الأنابيب المقواة بالألياف الزجاجية ، الأحهاد وكذلك أنواع متعددة من الأنابيب المقواة بالألياف الزجاجية ، وأسفرت الدراسات التي تحت حتى الآن عن نتائج مشجعة .

ويتم كذلك دراسة استخدام أنابيب صغيرة من البلاستيك لتوزيع الحرارة من المحطات الثانوية الى المنازل. وتجرى كذلك الدراسات على الانتاج النووي للحرارة لتدفئة الأحياء السكنية بهدف تنمية محطات قوى نووية وحيدة الغرض لانتاج الطاقة الحرارية فقط.

ولهذا الغرض يتمين استخدام مفاعلات صغيرة قلبلة التكاليف، ذات تصميم مبسط، وخصائص تسمح بوضعها قريباً من المناطق المأهولة بالسكان. وتجري في السويد دراسات لتصميم مفاعل لانتاج البخار منخفض الحرارة والضغط، ذي تصميم مبسط، وخصائص ذاتية للأمان، تسمح باقامته بالقرب من الأماكن السكنية. وقد تم اعداد التصميات الأولية وتحاليل الأمان لمفاعل

بقدرة ٢٠٠ ميجاوات حراري لتدفئة الأحياء لمدينة يتراوح تعدادها من ٥٠ الى ١٠٠ الف نسمة ، وذلك كمشروع مشترك بين السويد وفنلندا . ويلزم لتنمية هذا النوع من المفاعلات الصغيرة وحيدة الغرض لانتاج الطاقة الحرارية على صورة بخار أو ماء ساخن ، تصميات مبسطة وجديدة للمفاعلات النووية ، أو تعديل بعض مفاعلات تسيير السفن لتلاثم الاستخدام على سطح الأرض، وهناك عدد من المفاهيم لهذه التصميات تتراوح بين ١٠٠ الى ١٠٠ ميجاوات حراري ، وتوجد في الوقت الحالي ، أكثر الاهتامات لتطبيقات المفاعلات الوحيدة الغرض في الاتحاد السوفييتي وفرنسا وفنلندا وايطاليا والسويد .

وقد وجد أن استخدام المفاعلات المزدوجة الفرض لتدفئة المناطق السكنية بجدياً واقتصادياً في عديد من المدن الكبيرة في أوروبا. وعلى الرغم من ذلك لم يتم وضع خطط محددة لتنفيذ مثل هذه المشروعات في المستقبل القريب، وقد يكون من بين أسباب التأخير في تنفيذ مثل هذه المشروعات، مشاكل اختيار المواقع المناسبة لاقامتها، واقتصاديات نقل الحرارة عبر المسافات الطويلة، بالاضافة الى حساسية الرأي المام بالنسبة للقوى النووية. واستخدام القوى النووية في تطبيقات انتاج الطاقة الحرارية، سوف يصبح على المدى البعيد بديلا لموارد الطاقة يؤدي الى الاقتصاد في استهلاك الوقود من البترول المتناقص وغيره من أنواع الوقود التقليدي.

ان أحد التطبيقات الأخرى المكنة لاستخدام الطاقة الحرارية ، بالاضافة الى تدفئة الاحياء السكنية ، هو استخدام البخار في المنشآت الصناعية التي تحتاج الى كميات كبيرة منه ، مثل صناعات الورق والنسيج والعجائن الورقية .

٣ _ الدفع النووي للسفن:

لقد استخدمت محركات دفع تعمل بالطاقة النووية في السفن للمرة الأولى

منذ ٢٥ عاماً للأغراض العسكرية، وذلك عندما دشنت الولايات المتحدة الأمريكية أول غواصة ذرية عام ١٩٥٤، وهي الغواصة «نوتيلس ».

ولعل الكثير من الناس لا يعلمون بوجود الاستخدام المكثف للمفاعلات لدفع السفن وكاسحات الثلج، والفواصات، ومن المعروف ان هناك ما يقرب من ٥٦ سفينة نووية، بما في ذلك الغواصات، تعمل حالياً، صنعتها الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي والمملكة المتحدة وفرنسا، الا انه توجد حالياً ست سفن تجارية فقط تستخدم المفاعلات النووية ويستخدم الباقي لسفن الأساطيل الحربية، وتعمل البعفيتين الباقيتين، والأربع سفن التي ما زالت تعمل حالياً بيناء توقف عمل السفينتين الباقيتين، والأربع سفن التي ما زالت تعمل حالياً بيناؤها في الاتحاد السوفييتي هي «لينين» و «ارتيكا » و«سيبر » أما السفينة بناؤها في الاتحاد السوفييتي هي «لينين» و «ارتيكا » و«سيبر » أما السفينة داوقفت خدمتها التجارية النووية الوحيدة التي بنتها الولايات المتحدة، فقد أوقفت خدمتها التجارية منذ عام ١٩٧٠، بعد ثمان سنوات من التشفيل الناجع، وهناك بالإضافة الى ذلك السفينة اليابانية «موتسو » والتي تجري لها حالياً بعض التعديلات في دروعها الواقية، وينتظر أن يماد تشغيلها خلال بضع سنوات.

ان الاحتالات المستقبلية بالنسبة للاستخدام الواسع للدفع النووي للسفن غير مؤكدة. وتجري دراسات في الوقت الحالي لوضع أسس الجدوى الفنية والمنافسة الاقتصادية وذلك حتى يمكن تقديم تصميم لأجهزة الدفع النووي لتسيير السفن ، لمالكي السفن التجارية كبديل منافس لنظم الدفع التي تستخدم الوقود التقليدي.

ومن المشاكل التي بجب أخذها في الاعتبار في هذا الجال، هو احتياج صناعة السفن الى عدد كبير من الأنواع والأحجام الختلفة من السفن، تتسع لمستويات متباعدة من مدى القدرة. واعداد تصميم وحيد للمحطة النووية لكل نوع من أنواع السفن، بما يتضمنه من تكاليف التطوير والتراخيص الللازمة للمحطات النووية، سوف ينطوي على تكاليف تقوى عليها صناعة السفن. وتجوي ادارة البحرية الأمريكية حالياً دراسة لمشروع مفاعل دفع نووي نمطي واقتصادي، يمكن استخدامه على أوسع مدى ممكن في أنواع السفن الختلفة.

وقد أتمت المانيا عام ١٩٧٦ تصميم سفينة شحن مدفوعة نووياً ، الا أن الجهود المبذولة في هذا المجال حتى الآن ما زالت محدودة للغاية، واحتمالات استخدامها على نطاق كبير في المستقبل غير مؤكدة في الوقت الحاضر.

ويقوم تصميم السفن التجارية المدفوعة نووياً على الأسس الراسخة لصناعة السنن، وعلى التكنولوجيا المجربة لمفاعلات الماء الخفيف، الا أن مشاكل التطوير المستقبلي لهذه السفن تنشأ عن نوعية البيئة البحرية بالنسبة للمفاعل، وعن مقتضيات الأمان للسفينة، وعن التكامل بين السفينة والمفاعل. هذا بالاضافة الى عامل هام آخر الا وهو أن اقتصاديات المفاعلات في تسيير السفن لم تصل بعد الى درجة الجاذبية التي تحفز صانعي السفن ومالكيها للدخول في تمهدات كبيرة لاستخدام سفن تجارية نووية كبيرة بدل السمن التقليدية.

قائمة المراجع

"POWER REACTORS IN MEMBER STATES", 1978 Edition, IAEA,	- 1
STI/PUB/423/4 (1978).	
"OPERATING EXPERIENCE WITH NUCLEAR POWER	- Y
STATIONS IN MEMBER STATES",	
a. IAEA, STI/PUB/458 (1976).	
b. IAEA, STI/PUB/480 (1977).	
"OPERATING EXPERIENCE WITH NUCLEAR POWER	- ₹
STATIONS IN MEMBER STATES". Performance Analysis Report.	
a. IAEA, STI/PUB/472 (1977).	
b. IAEA, STI/PUB/481 (1978).	
"DIRECTORY OF NUCLEAR REACTORS".	- £
a. Volume IV: Power Reactors, IAEA, STI/PUB/53 (1962).	-
b. Volume VII: Power Reactors, IAEA, STI/PUB/174 (1967).	
c. Volume IX: Power Rteactors, IAEA, STI/PUB/296 (1971).	
d. Volume X: Power and Research Reactors, IAEA,	
STI/PUB/397 (1976).	
"NUCLEAR POWER AND ITS FUEL CYCLE". Proceedings of the	- 0
International Conference, Salzburg, Austria, May 1977, Volume 1,	
"Nuclear Power Prospects and Plans".	
IAEA, STI/PUB/465 (1977).	
"INTERNATIONAL SURVEY COURSE ON TECHNICAL AND	- 1
ECONOMIC ASPECTS OF NUCLEAR POWER".	- 1
IAEA, Technical Report-114 (1969).	

"POWER REACTORS OF INTEREST TO DEVELOPING -Y COUNTRIES", IAEA, Technical Report-140 (1971). "NUCLEAR POWER AND ITS FUEL CYCLE". Volumes 2 & 3, The Nuclear Fuel Cycle, Parts I & II. IAEA, - A STI/PUB/465 (1977). "UTILISATION OF THORIUM IN POWER REACTORS", IAEA. . 4 STI/DOC/10/52 (1966). "USE OF PLUTONIUM FOR POWER PRODUCTION". Report of Nuclear Energy Policy Group, Ballinger Publishing Co., Cambridge, Mass., U.S.A. (1977). -11 "SMALL AND MEDIUM POWER REACTORS". IAEA Symposium, Oslo, October, 1970. IAEA, STI/PUB/267 (1971). R. Krymm, "A NEW LOOK AT NUCLEAR POWER COSTS". -11 IABA, Bulletin 18, No. 2 (1976). R. Krymm et al., "FUTURE TRENDS IN NUCLEAR POWER". - 1" IAEA, Bulletin 19, No. 4, August (1977). "ECONOMIC EVALUATION OF BIDS FOR NUCLEAR POWER - 18 PLANTS". A Guidebook, IAEA, STI/DOC/10/175 (1976). "CAPITAL INVESTMENT COSTS OF NUCLEAR - \0 POWER PLANTS". IAEA - Bulletin 20, No. 1, February (1978). "ECONOMIC INTEGRATION OF NUCLEAR POWER STATIONS - 11 IN ELECTRIC POWER SYSTEMS". IAEA/ECE Symposium, STI/PUB/266 (1970). "NUCLEAR ENERGY COSTS AND ECONOMIC - 19 DEVELOPMENT". IAEA Symposium, STI/PUB/239 (1969). "CAPITAL INVESTMENT COSTS OF NUCLEAR POWER - \A PLANTS". G. Woite, IAEA Report, April (1979). B.J. Csik. "COST TRENDS IN NUCLEAR POWER". Training Course on Nuclear Power Project Construction and Operation Management, Argonne, U.S.A., Feb. - May (1978). J.A. Lane. "LATEST TRENDS IN THE ECONOMICS OF NU- - Y. CLEAR POWER". Third International Summer College on Physics and Contemporary Needs,

Nathiagali, Pakistan, June (1978).

"INTERNATIONAL COMPARISON OF NUCLEAR POWER _ 11 COSTS".

IAEA Symposium, London, STI/PUB/164 (1967).

"MARKET SURVEY FOR NUCLEAR POWER IN DEVELOPING - YY COUNTRIES".

a. General Report, IAEA (1973).

b. 1974 — Edition, STI/PUB/395 (1974).

"STEPS TO NUCLEAR POWER". A Guidebook,

- ""

IAEA, STI/DOC/10/164 (1975).

"BID EVALUATION AND IMPLEMENTATION OF NUCLEAR - YE POWER PROJECTS".

IAEA, Technical Report-151 (1972).

J.A. Lane et al., "NUCLEAR POWER IN DEVELOPING _ YO COUNTRIES".

IAEA, CN-36/500, May (1977).

"NUCLEAR POWER AND ITS FUEL CYCLE".

- 17

_ **

Volume 6, Nuclear Power in Developing Countries.

WITH PARTICULAR REFERENCE TO EGYPT".

IAEA, STI/PUB/465 (1978).

K.E.Effat et al., "PROBLEMS OF IMPLEMENTATION OF THE - YY
FIRST NUCLEAR POWER PLANT IN DEVELOPING COUNTRIES

Proceedings of the Conference on Transfer of Nuclear Technology, Persipolis. Iran (1977).

K.E.Effat et al., "PROJECTED ROLE OF NUCLEAR POWER IN _ YA EGYPT AND PROBLEMS ENCOUNTERED IN IMPLEMENTING THE FIRST NUCLEAR POWER PLANT".

IAEA, CN-36/574 (1977).

K.E. Effat., "SIZE SELECTION CONSIDERATIONS FOR NU- _ YA CLEAR POWER IN DEVELOPING COUNTRIES".

Symposium, Small and Medium Size Power Reactors.

IAEA, PL-297/25 (1969).

A. Zaazoo and K.E.Effat., "INTRODUCTION OF NUCLEAR POWER GENERATION IN DEVELOPING COUNTRIES".

Conference o nPeaceful Uses of Atomic Energy in Africa. IABA (1970).

٠	TREATY ON THE NON-PROLIFERATION OF NUCLEAR	- 11
1	WEAPONS".	
1	Review Conference, 1975.	
J	Iaea — Bulletin 17, No. 2, April (1975).	
٠	'NON-PROLIFERATION AND INTERNATIONAL	- ٣٢
5	SAFEGUARDS".Public Information Booklet, IAEA (1978).	
٠	'A SHORT HISTORY OF NON-PROLIFERATION".	- ٣٣
- 1	Public Information Booklet, IAEA, February (1976).	
	'REGIONAL NUCLEAR FUEL CYCLE CENTRES".	- T1
I	AEA, STI/PUB/445 (1977).	
	'PHYSICAL PROTECTION OF NUCLEAR MATERIAL AND	- 40
Į	FACILITIES". IAEA — Bulletin 20, No. 3, June (1978).	
·	'THE PHYSICAL PROTECTION OF NUCLEAR MATERIAL".	- ٣٦
1	AEA, INFCIRC/225 (1975).	
v	'ENVIRONMENTAL ASPECTS OF NUCLEAR POWER	- "Y
5	STATIONS".Symposium, IAEA, STI/PUB/261 (1970).	
1	R. Salvatori, "THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF NU-	- ٣A
(CLEAR POWER PLANTS IN THE UNITED STATES".	
I	Fifth Foratom Congress, Florence, Italy, October (1973).	
1	K.G. Vohra, "A PERSPECTIVE ON THE RADIATION PRO-	- 1"4
7	FECTION PROBLEM AND RISK ANALYSIS FOR THE NUCLEAR	
1	ERA". IAEA-Bulletin 20, No. 5, October (1978).	
1	AEA — Bulletin 20, No. 5, October (1978).	
ч	NUCLEAR ENERGY AND THE ENVIRONMENT".	
I	AEA, INFCIRC/139/Add. 1 (1970).	- 1 -
61	RADIOACTIVE WASTES".	- 11
1	AEA, Booklet, June (1978).	- 21
61	NUCLEAR ENERGY FOR WATER DESALINATION".	- 17
1	AEA, STI/DOC/10/51 (1966).	
41	DESALINATION OF WATER USING CONVENTIONAL AND	- 17
1	NUCLEAR ENERGY".	
I	AEA, STI/DOC/1024 (1964).	
61	GUIDE TO COSTING OF WATER FROM NUCLEAR DESALI-	- 11
1	NATION PLANTS".	
I	AEA, STI/DOC/10/151 (1973).	

N.Raisic., "DESALINATION OF SEA WATER USING NUCLEAR _ £0 HEAT".

IAEA - Bulletin 19, No. 1, February (1977).

B. Agricola and M. Cumo "LOW TEMPERATURE HEAT _ £7 UTILISATION STUDIES PERFORMED IN ITALY".

ENC-79, "Nuclear Power Option ofr the World".

ANS Transactions, Vol. 31, Page 650 (1979).

R. Tarjanne., "NUCLEAR APPLICATION FOR LOW TEM- LY PERATURE HEAT". ANS Transactions, Vol. 31, Page 653 (1979).

E.E. El-Hinnawi., "REVIEW OF THE ENVIRONMENTAL IM-_ £ A PACT OF NUCLEAR ENERGY".

- 19

IAEA - Bulletin, 20, No. 2, April (1978).

Rowland F.Pocock, "NUCLEAR SHIP PROPULSION". Ian Allan Ltd.,

Surrey, England (1970).

W. Jager and H.Lettnin, "TECHNICAL AND ECONOMIC _ 6ASPECTS OF NUCLEAR POWERED CONTAINER-SHIP".
Nuclear Power, Option for the World, ENC 79 Conference, ANS Tran-

sactions, Vol. 31 (1979).

